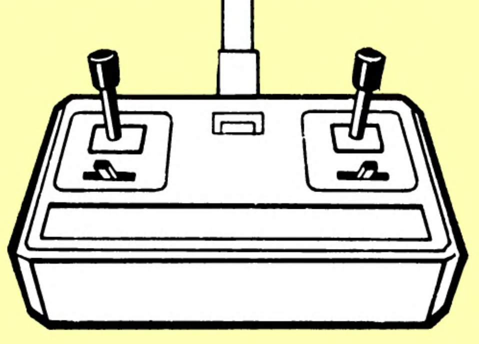
ГЮНТЕР МИЛЬ

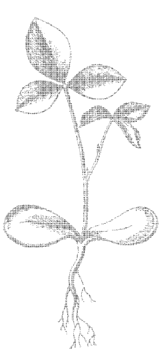
ЭЛЕКТРОННОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛЯМИ



ГЮНТЕР МИЛЬ

ЭЛЕКТРОННОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛЯМИ

Перевод с немецкого В. Н. Пальянова
под редакцией А. В. Дьякова



МОСКВА
ОРДЕНА «ЗНАК ПОЧЕТА»
ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ СССР
1980

6Ф2.9
М60

Миль Г.

М60 Электронное дистанционное управление моделями / Пер. с нем. В. Н. Пальянова.— М.: ДОСААФ, 1980.— 416 с., ил.

В пер. 1 р. 40 к.

В книге излагаются сведения по разработке и использованию электронных устройств дистанционного управления различными самодвижущимися моделями, описываются приборы для дистанционного управления моделями, приводятся современные схемы приемно-передающей аппаратуры.

Для моделистов-конструкторов и радиолюбителей.

$М\frac{60902-106}{072(02)-80}$ 86-80 4202000000 6Ф2.9

Гюнтер Миль

ЭЛЕКТРОННОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛЯМИ

Перевод с немецкого *В. Н. Пальянова*
под редакцией *А. В. Дьякова*

Редактор В. Н. Ионов
Художник Л. П. Белов
Художественный редактор Т. А. Хитрова
Технические редакторы Д. А. Стеганцева, В. Н. Кошелева
Корректор П. В. Иваницкая

ИБ № 963

Сдано в набор 29.11.79. Подписано в печать 03.11.80. Г-30836. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Усл. п. л. 26,0. Уч.-изд. л. 25,49. Тираж 100 000 экз. № заказа 718. Цена 1 р. 40 к. Изд. № 2/1934.

Ордена «Знак Почета» Издательство ДОСААФ СССР 129110, Москва, И-110, Трифоновская ул., д. 34.

Ордена Трудового Красного Знамени типография издательства ЦК КП Белоруссии, Минск, Ленинский проспект, 79.

От издательства

В книге инженера Гюнтера Миля «Электронное дистанционное управление моделями» рассказывается о технике дистанционного управления моделями автомобилей, кораблей и т. п.

Среди рассматриваемых вопросов дистанционного управления моделями автор уделил наибольшее внимание радиоуправлению.

Собранный в книге материал знакомит читателя с принципами, системами и отдельными звеньями дистанционного управления.

Приведенные в книге теоретические обоснования и практические указания призваны дать начинающему моделисту минимум знаний, необходимых для технически правильного обслуживания покупной аппаратуры. Но не только в этом задача книги. Она послужит хорошим пособием и для моделистов-конструкторов со стажем, поскольку содержит большое количество примеров схемных решений и рекомендаций по конструированию и изготовлению, а также и по регулировке аппаратуры дистанционного управления.

Автором рассмотрены вопросы стабилизации частоты, построения умножителей частоты и выходных каскадов передатчиков, а также аспекты антенной техники применительно к малогабаритной аппаратуре радиоуправления моделями.

Заслуживает внимания анализ методов модуляции. Уделено внимание и такой перспективной новинке, как использование узкополосных частотно-модулированных сигналов. В книге подробно описаны блоки кодирования и декодирования. Рассмотрены сервомеханизмы с их электроникой и даны рекомендации по настройке. Заинтересует моделистов пропорциональное управление ходовым электродвигателем.

Автор дает сведения о распространенных в ГДР источниках тока и правилах их эксплуатации, сопровождая их описанием схем стабилизации, автоматического заряда и защиты аккумуляторов. Рассмотрен вопрос восстановления емкости разряженных гальванических источников тока.

Отдельная глава книги посвящена описанию конструктивных особенностей промышленной аппаратуры. Особое внимание уделено указаниям по уходу и обслуживанию аппаратуры, а также по ее настройке и поиску неисправностей. Приведены схемы приборов, которые несложно изготовить для этой цели, а именно: приборы для проверки сервомеханизмов, генератор, тахометр, испытатель транзисторов. Описано несколько оригинальных вариантов контрольных приемников.

В конце книги даны примеры схем наиболее распространенной промышленной аппаратуры дистанционного управления, в том числе и узкополосной аппаратуры с повышенной помехозащищенностью, где используются преимущества частотной модуляции.

Читатель увидит, как широко в настоящее время зарубежными фирмами применяются микросхемы, узнает о расширении возможностей серийной аппаратуры за счет приставок, обеспечивающих получение дополнительных каналов, передачу дискретных команд в аппаратуре пропорционального управления, переключение и регулировку ходового электродвигателя.

Книга издана в русском переводе с некоторыми несущественными сокращениями. Был исключен раздел о порядке оформления в ГДР разрешения на эксплуатацию аппаратуры радиоуправления моделями. В нашей стране моделисту перед самостоятельной постройкой или приобретением фабричной аппаратуры следует через Государственную инспекцию электросвязи оформить разрешение на право пользования передатчиком для управления моделями. В этом случае необходимо руководствоваться инструкцией Государственной инспекции электросвязи о порядке регистрации и эксплуатации любительских приемно-передающих радиостанций индивидуального и коллективного пользования, утвержденной Министерством связи СССР 25 февраля 1967 г.

Вот что гласят отдельные положения из этой инструкции:

— Постройка (приобретение) и эксплуатация любительских радиостанций могут производиться только после получения от Государственной инспекции электросвязи областного (краевого) управления Министерства связи или Министерства связи союзной республики извещения о разрешении постройки (приобретения) и эксплуатации радиостанций

— Для получения разрешения на постройку (приобретение) и эксплуатацию передатчиков, используемых для радиоуправления моделями, радиолюбители через комитеты или радиоклубы ДОСААФ подают в Государственную инспекцию электросвязи областного (краевого) управления Министерства связи союзной республики следующие документы:

а) заявление-анкету с фотокарточками;

б) ходатайство местного комитета ДОСААФ.

Кроме того, к заявлению прилагается схема передатчика в 1 экземпляре.

— Разрешение на право работы с передающими устройствами владельцам индивидуальных радиостанций выдается только при условии достижения ими 16-летнего возраста.

— Любительским передатчикам индивидуального и коллективного пользования для радиоуправляемых моделей разрешается работать мощно-

стью не более 1 Вт, типом излучения А-2 (амплитудно-модулированные колебания) с шириной полосы излучаемых частот не более 25 кГц, для передачи команд телеуправления в диапазонах 28,0—28,2 МГц и 144—146 МГц и на частоте 27,12 МГц±0,6%.

Использование таких передатчиков для проведения радиосвязи категорически запрещается.

— Передатчики для радиоуправляемых моделей разрешается использовать только на территории области (края, республики), где выдано разрешение.

— При выезде на соревнования в другую область (край, республику) владелец передатчика обязан оформить в местной Государственной инспекции электросвязи временное разрешение на право вывоза передатчика, с указанием места назначения и срока пребывания на соревнованиях. Копия выданного временного разрешения должна быть выслана в Государственную инспекцию электросвязи по месту проведения соревнований.

Следует оговорить еще положение о том, что при применении для целей радиоуправления передатчиков мощностью 10 мВт, приобретаемых в торговой сети, не требуется получать разрешение, о котором шла речь выше.

К числу таких передатчиков, например, относится передатчик командного радиокомплекса «Импульс».

Чтобы исключить разночтение схем, опубликованных в книге, и их подлинников, при переводе сохранены обозначения и нумерация транзисторов, диодов, микросхем и ряда других элементов, примененных автором в немецком издании книги.

Предисловие

Управляемые на расстоянии летательные аппараты, такие как автоматические межпланетные станции «Марс», «Венера» или самоходный аппарат «Луноход», вызвали очень большой интерес. По достоинству были оценены достигнутые в этих экспериментах высокие технические показатели, которые стали возможными, не в последнюю очередь, благодаря стремительному развитию современной электроники.

Как и специалистам в области космической техники, моделистам приходится решать задачи обеспечения точности и надежности дистанционного управления своими моделями. Наибольший интерес у зрителей вызывает управление судо- или авиамоделью на расстоянии. Большое количество вопросов, задаваемых зрителями, отражает их стремление побольше узнать об этой интересной области техники.

В этой книге рассмотрены очень сложные проблемы дистанционного управления моделями с помощью электронной аппаратуры. Книга призвана восполнить недостаток технической литературы для моделистов в этой области. Автор попытался в систематической форме представить современный уровень развития электронной аппаратуры, предназначенной для дистанционного управления моделями. Рассмотрение отдельных проблем сопровождается вариантами схем, оправдавших себя в промышленности или моделизме. Большинство схем выполнено на элементах, производимых в ГДР. В отдельных случаях использованы импортные элементы (такие как кремниевые типа *p-n-p* и германиевые типа *n-p-n* транзисторы, четырехслойные диоды и специальные интегральные схемы).

Объем книги обусловил выбор из множества вариантов схем различного назначения лишь тех, которые хорошо зарекомендовали себя и представляют интерес для моделистов. В описание не были включены технически устаревшие схемы (ламповые схемы, акустическая аппаратура, аппаратура с резонансными реле).

Кроме больших теоретических разделов, посвященных проблемам электроники, в книге даны практические указания по применению аппаратуры дистанционного управления, установке ее узлов на моделях, правильному уходу за этой аппаратурой, а также правильному и более экономичному ее изготовлению. Это относится как к простым вопросам (например, целесообразность установки антенны на модели или удобное крепление передатчика), так и более сложным (например, правильность зарядки никелево-кадмиевых аккумуляторов). Однако тем, кто, прочитав эту книгу,

решится на самостоятельную постройку аппаратуры дистанционного управления, следует посоветовать сначала приобрести необходимый опыт при экспериментировании с простыми схемами.

Читателю, наверное, бросится в глаза отличающееся от обычного распределение материала в книге. С целью более четкого и последовательного освещения очень обширной и многообразной темы дистанционного управления были рассмотрены раздельно вопросы кодирования и передачи сигналов, электропитания, а также практические указания, описание вспомогательных приборов и рекомендации по выбору аппаратуры дистанционного управления промышленного изготовления. При изготовлении аппаратуры и пользовании ею следует принимать во внимание законодательные определения.

В заключение автор благодарит всех моделистов-спортсменов, особенно М. Эккардта, Д. Хартцша и Л. Шрамма, а также кустарно-промышленное товарищество *Radio—Fernsehen, Freiberg* и фирмы *Graupner, HISTRI—ELECTRIC* и *Multiplex,* предоставившие ему интересные и весьма полезные материалы.

Эрфурт, январь 1975 г.
Д-р Гюнтер Миль

Предисловие ко второму изданию

Наше время характеризуется бурным развитием электроники, затрагивающим также и довольно узкую область дистанционного управления моделями. Это, а также положительный прием книги читателями, заставило автора и издательство уже через два года выпустить ее исправленное и дополненное издание. Правда, по условиям печати в разделе *8.1* удалось описать лишь несколько избранных образцов новой аппаратуры.

Моделисты получили в распоряжение совершенные устройства, особенно исполнительные механизмы. Новым направлением моделизма стала постройка летающих моделей с электроприводом и моделей вертолетов. Окончательно завоевало признание использование интегральных схем и частотно-модулированных узкополосных сигналов в аппаратуре дистанционного управления моделями. Другие новинки, например, высокочастотные модульные устройства, профессиональные передатчики, акустические датчики отметок времени или встроенный в передатчик электронный таймер, пока еще проверяются на практике.

Эрфурт, январь 1975 г.
Д-р Гюнтер Миль

1. Введение

Электронная аппаратура дистанционного управления моделями в последние годы быстро совершенствуется. Стремление моделистов обеспечить высокое качество управления моделями привело к созданию современной аппаратуры пропорционального управления. С ее помощью авиамоделист может на расстоянии управлять моделью, воспроизводя полет, полностью соответствующий полету настоящего самолета.

Развитие в этой области идет по пути удовлетворения таких требований к аппаратуре, как надежность, экономичность и простота обслуживания. В большинстве случаев зрители лишь удивляются, как уверенно и элегантно выполняет все фигуры пилотажа модель, построенная в полном соответствии с копируемым самолетом, даже при полете со скоростью до 150 км/ч. Но они и не подозревают, насколько разнообразные технические задачи приходится решать в ходе упорной длительной работы над моделью. Эти задачи касаются как технологии изготовления модели, так и разработки электронной аппаратуры и электропитания. После появления таких новых материа-

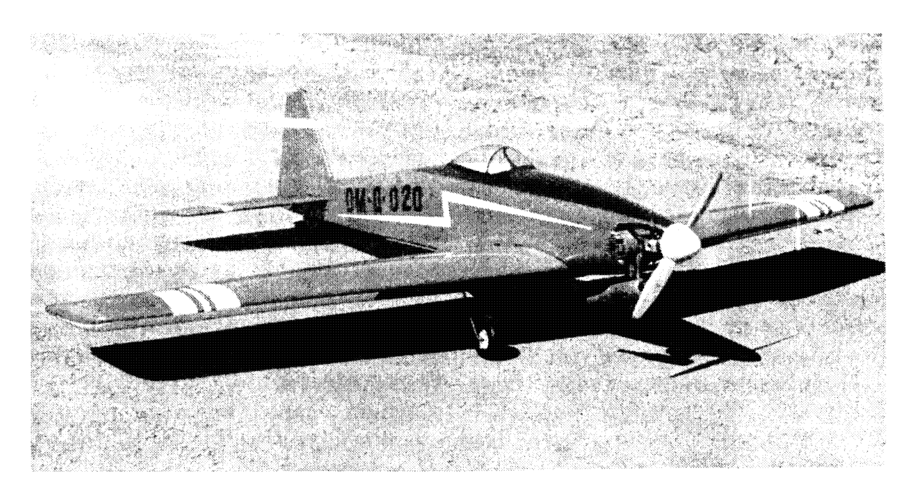


Рис. 1
Радиоуправляемая авиамодель, выполняющая фигуры высшего пилотажа (скорость около 150 км/ч Рабочий объем двигателя 10 см^3)

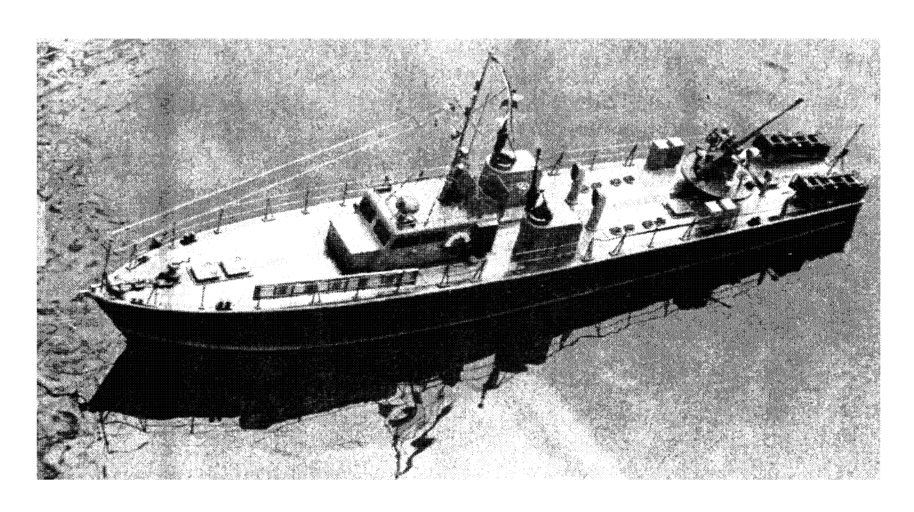


Рис. 2
Судомодель класса F2-b (модель охотника за подводными лодками)

лов, как эпоксидная и полиэфирная смолы, стала возможной совершенно новая технология изготовления модели, а благодаря новым электронным элементам, таким как мощные кремниевые транзисторы и интегральные схемы, появилась возможность разработки современной цифровой аппаратуры пропорционального управления.

Особенно привлекательным здесь для людей любого возраста является разнообразие технических задач. Дистанционное управление моделями — серьезное увлечение, которое предоставляет возможность осуществления собственных идей и является приятным дополнением к профессиональной деятельности.

Усовершенствование электронной аппаратуры дистанционного управления моделями в последние годы объясняется также энергичной изобретательской деятельностью любителей. Их поиски технически совершенных решений с использованием элементов, предназначенных для электронных устройств обработки данных и для других областей техники, увенчались разработкой аппаратуры дистанционного пропорционального управления. Учитывая большой интерес и увеличение свободного времени у населения, промышленность стала выпускать аппаратуру, которую вначале моделисты делали сами. Сегодня промышленность производит не только принадлежности, электродвигатели и аккумуляторы, предназначенные специально для моделирования, но даже и специальные интегральные схемы.

При разработке аппаратуры дистанционного управления моделями приходится решать самые разнообразные задачи, включающие преобразование команд управления в электри-

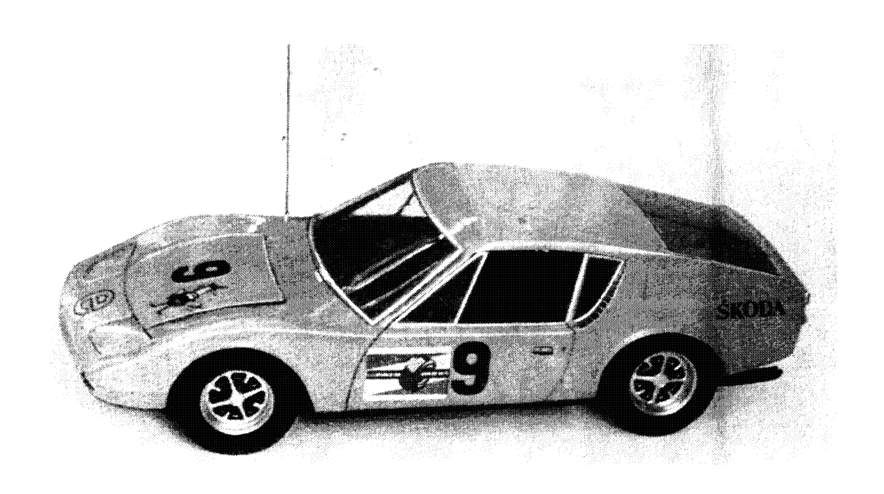


Рис. 3
Автомодель

ческие сигналы, кодирование, выбор числа каналов передачи, декодирование и передачу команд на исполнительные механизмы, а также задачи, связанные с выполнением механических узлов, электронных схем и электропитания. Систематизация материала книги и разбивка его на разделы произведены с учетом всех этих задач.

Разделы, в которых изложены практические указания по использованию аппаратуры дистанционного управления, методы поиска неисправностей и дано описание вспомогательных приборов, дополняют теоретическую часть книги.

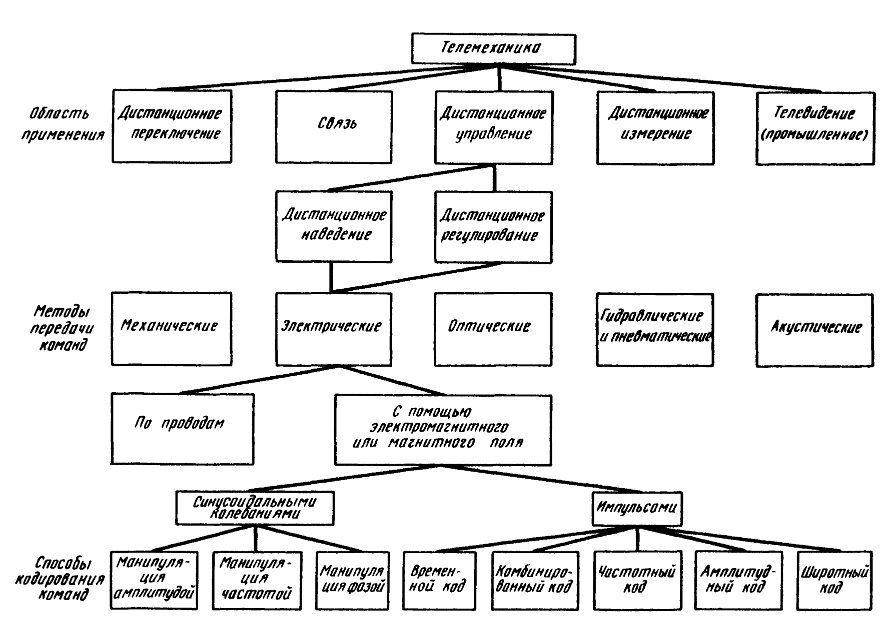
2. Основы дистанционного управления моделями

2.1. Системы дистанционного управления моделями

Цели дистанционного управления моделями могут быть самыми различными. В соответствии с этим можно по-разному рассматривать и всю область телемеханики, частью которой оно является. Поэтому представленная на рис. 4 классификация телемеханических систем, являющаяся одной из множества возможных классификаций, разработана лишь с учетом задач дистанционного управления моделями.

Дистанционное управление моделями относится к специальным разделам телемеханики. Под **дистанционным управлением** понимают выполнение определенных процессов в одной точке пространства в результате подачи команд из другой точки пространства. В данном случае это может быть включение сирены

Рис. 4
Классификация телемеханических систем



или светового сигнала на модели, а также переключение ходового двигателя или рулевой машинки. В большинстве случаев на расстоянии управляют движением модели. При этом необходимо:

изменить скорость модели;

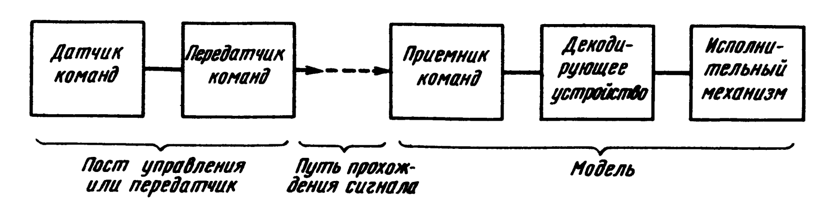
изменить курс модели с целью направления ее к цели по желаемой траектории.

Для решения этих задач модель должна быть дистанционно управляема. Если требуется изменить только курс модели, то речь идет о дистанционном наведении. Следовательно, д и с т а н ц и о н н о е н а в е д е н и е представляет собой требуемое изменение курса модели посредством передачи соответствующих команд с целью направления ее в нужную точку по желаемой траектории.

Для реализации дистанционного наведения модель должна быть оборудована соответствующей аппаратурой. Наведение моделей, движущихся по земле или по воде, осуществляется поворотом их вокруг вертикальной оси. Управление подводными и летательными моделями, а также космическими аппаратами (если последние удастся построить) с целью их наведения должно производиться относительно трех осей — вертикальной, поперечной и продольной. В дальнейшем будут использоваться оба понятия: дистанционное управление, при котором команды формируются, передаются и реализуются для выполнения любых функций, и дистанционное наведение, при котором на расстоянии управляют только рулевыми механизмами модели. Дистанционное наведение является частным случаем дистанционного управления.

Дистанционное управление моделью производится всегда при визуальном наблюдении за нею, т. е. на дальности примерно до 1000 м. Следовательно, задачи, связанные с понятиями определения координат, навигации и системы отсчета, имеют здесь лишь подчиненное значение и в данной книге не рассмотрены. В соответствии с этим дистанционное наведение моделей является командным. Моделист выдает сигнал наведения в форме команды. Эта команда электрически шифруется (кодируется) и излучается в пространство с помощью передатчика (рис. 5). Приемник принимает сигнал (команду), усиливает его и подает на декодирующее устройство. Выход этого устройства подключен к исполнительному меха-

Рис. 5
Схема командного наведения



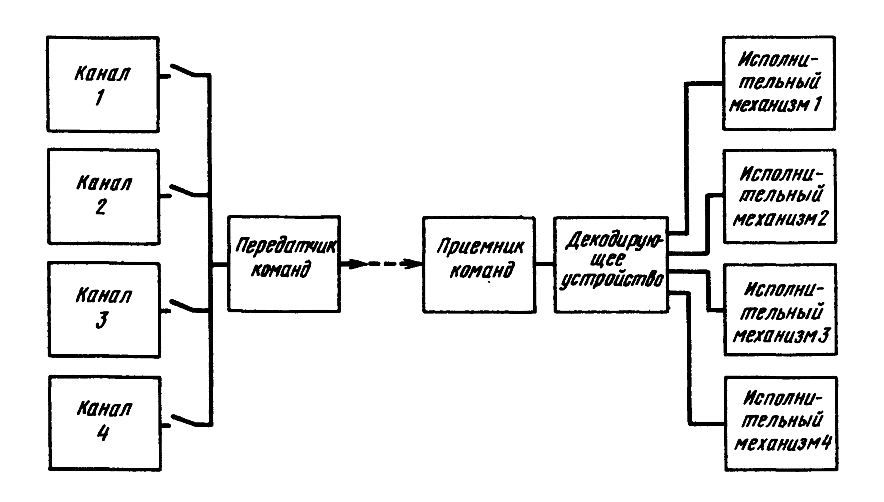


Рис. 6
Блок-схема многоканальной аппаратуры дистанционного управления

низму, который электрическое значение команды (импульс) преобразует в усилие управления, механически воздействующее на орган управления (руль).

На понятии «команда» следует остановиться более подробно. Пояснение его можно дать с помощью некоторых часто используемых в области дистанционного управления моделями понятий. Прежде всего необходимо назвать точность отработки команды. Если, например, для управления исполнительным механизмом моделист может выбирать между двумя его состояниями, «Включено» и «Выключено», то команда «Включено» соответствует жестко заданному отклонению исполнительного механизма, а команда «Выключено»— его нейтральному положению. Команды такого типа далее будут называться дискретными. Типичным случаем их применения является аппаратура дискретного дистанционного управления. Такая аппаратура реализует команды, обладающие лишь минимальной точностью отработки, но которая, однако, может оказаться достаточной для подачи команд определенных типов.

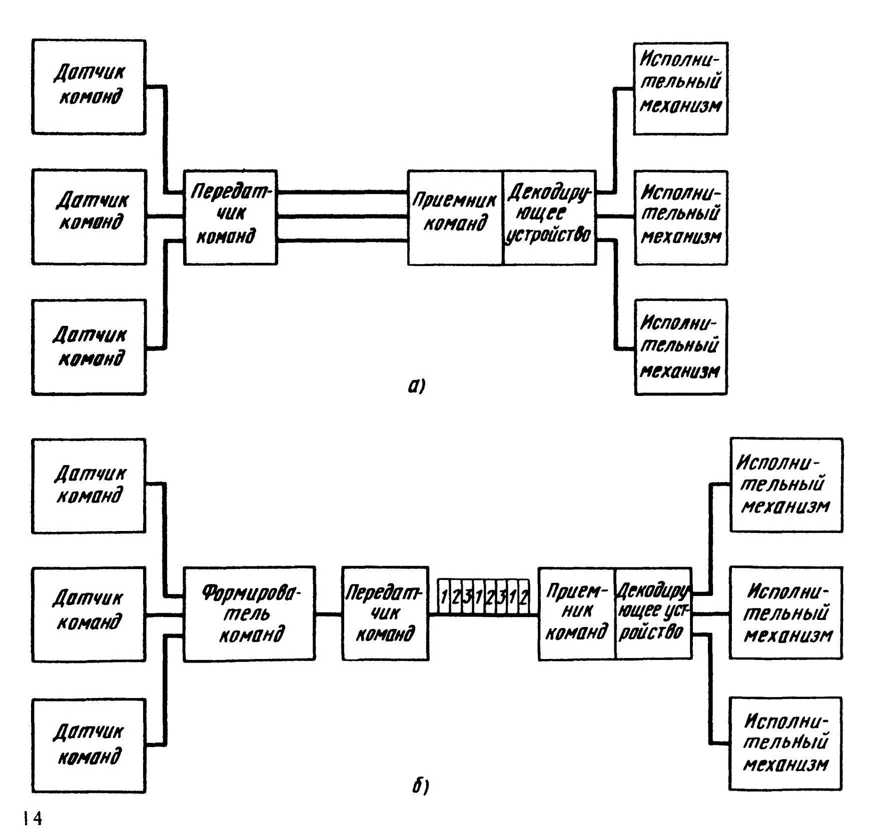
Если моделист может разбить команду на управление так, чтобы можно было получить отклонение исполнительного механизма на любой угол, промежуточный между его крайними положениями, то это говорит о высокой точности отработки команды. Примером аппаратуры, способной реализовать такие команды, является современная аппаратура пропорционального дистанционного управления. Она позволяет в любой момент времени сохранять пропорциональность между отклонением исполнительного механизма на модели и положением ручки управ-

ления на передатчике. В аппаратуре пропорционального дистанционного управления точность установки и отклонения исполнительного механизма (точность отработки команды) может составлять менее 1%

Если аппаратура дистанционного управления должна передавать несколько команд, то для этого она должна иметь несколько каналов. Аппаратура дискретного управления имеет обычно до десяти каналов, пропорционального — до восьми (рис. 6). Но при этом следует учитывать, что для передачи, например, команд «Вправо», «Прямо» и «Влево» первая должна иметь два канала, в то время как вторая — только один. Другими словами, один пропорциональный канал соответствует двум дискретным.

Если модель требует управления, максимально приближенного к управлению прототипом, то для нее необходимы не только несколько каналов для включения разных исполнительных механизмов, но и возможность одновременной

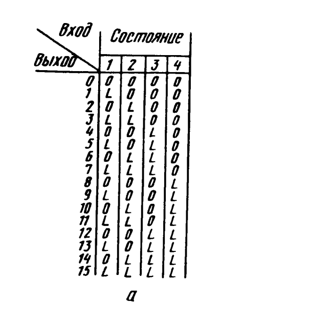
Рис. 7
Блок-схема аппаратуры дистанционного управления с одновременной передачей нескольких команд *а* передача методом наложения, *б* - передача методом временного разделения каналов



их работы. Аппаратура, обеспечивающая одновременное и независимое друг от друга управление разными исполнительными механизмами, называется аппаратурой дистанционного управления с одновременной передачей нескольких команд. Такую аппаратуру можно реализовать, предусмотрев для каждой команды специальный канал. Но это решение технически нерационально (рис. 7). Более выгодным является временно́е разделение команд. Отдельные команды передаются при этом в быстрой временно́й последовательности, в виде пакета команд. В этом случае исполнительные механизмы, установленные на модели, должны обладать такой инерционностью, которая перекрывает паузы, возникающие при передаче команд по другим каналам.

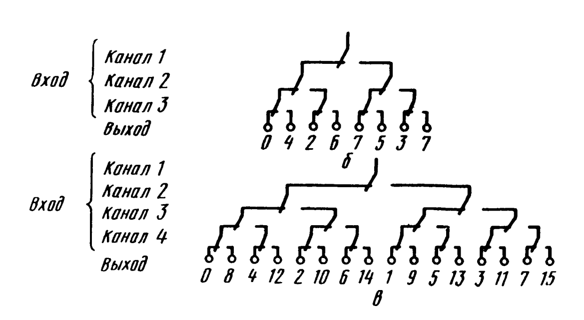
Существуют образцы аппаратуры дискретного дистанционного управления, с помощью которой можно передавать одновременно до трех команд. Современная аппаратура пропорционального дистанционного управления рассчитана на одновременную передачу всех формируемых ею команд. Например, шестиканальная аппаратура пропорционального управления непрерывно излучает пакеты из шести разнесенных по времени импульсных сигналов. При этом одновременная передача команд позволяет производить их логическое объединение в передатчике и в приемнике. Как видно из рис. 8, комбинация трех передаваемых одновременно команд позволяет получить семь отдельных команд. При четырех командах, передаваемых одновременно, число отдельных команд, как это можно видеть из таблицы объединений на рис. 8, возрастает до пятнадцати. При использовании же аппаратуры дискретного дистанционного управления комбинирование команд такого типа целесообразно только в отдельных случаях (для многофункциональных моделей), так как оно исключает возможность одновременной передачи всех команд.

Рис. 8
Логическое объединение передаваемых одновременно команд: *а* таблица объединений; *б* логическая схема для трех входов; *в* логическая схема для четырех входов



Вход / Выход	Состояние 1	2	3	4
0	0	0	0	0
1	L	0	0	0
2	0	L	0	0
3	L	L	0	0
4	0	0	L	0
5	L	0	L	0
6	0	L	L	0
7	L	L	L	0
8	0	0	0	L
9	L	0	0	L
10	0	L	0	L
11	L	L	0	L
12	0	0	L	L
13	L	0	L	L
14	0	L	L	L
15	L	L	L	L

а



2.2. Проблемы использования рабочих частот

В соответствии с «Правилами работы с наземными радиоустройствами» для дистанционного управления моделями в ГДР разрешены следующие полосы частот:

13,56 МГц±0,05%
27,12 МГц±0,6%
433,92 МГц±0,2%.

Из табл. 1 видно, что полоса 27,12 МГц±0,6% во всех странах выделена для дистанционного управления моделями.

Таблица 1

Полосы частот, разрешенные в различных странах для дистанционного управления моделями

Страна	Полоса пропускания	Максимальная выходная мощность передатчика, Вт
Бельгия	26,96-27,24 МГц	5
	32,25-32,65 МГц	
	72,00-72,50 МГц	
ФРГ	13,56 МГц±0,05%	1
	27,12 МГц±0,6%	
	34,40, 34,70, 35,00	
	35,30; 35,60 МГц	
	35,010-35,200 МГц	
	20 каналов с интервалом между ними 10 кГц	
	34 и 35 МГц выделены только для авиамоделей	
	40,68 МГц±0,05%	
	433,92±0,2%	
ЧССР	27,12 МГц±0,6%	1
	40,68 МГц±0,2%	
	132,25 МГц±0,1%	
Дания	27,12 МГц±0,6%	5
ГДР	13,56 МГц±0,05%	1
	27,12 МГц±0,6%	
	433,92 МГц±0,2%	
Финляндия	27,12 МГц±0,6%	5
Франция	27-27,5 МГц	5
	144-146 МГц	
	436-437 МГц	
Великобритания	27,12 МГц	1,5
	Каналы 4, 9, 13, 18, 23, 28	
Голландия	27,095-27,145 МГц	5
	144-146 МГц	
Италия	27,12 МГц±0,6%	5
	28-29,7 МГц	
Япония	27,12 МГц±0,6%	5
	464-465 МГц	
Норвегия	27,12 МГц±0,6%	5
Польша	27,12 МГц±0,6%	2
Швейцария	13,56 МГц±0,05%	5
	27,12 МГц±0,6%	
	40,68 МГц±0,05%	
Швеция	27,12 МГц±0,6%	5
Турция	27,12 МГц±0,6%	5
	40,68 МГц±0,5%	
СССР	27,12 МГц±0,6%	1
	28 МГц	
	144-146 МГц	
	420-435 МГц	
Венгрия	28-29,7 МГц	10
	144-146 МГц	
США	27,12 МГц±0,6%	1
	50-54 МГц	
	464-465 МГц	
	72,04; 72,40; 72,96; 75,64 МГц	0,75

Большинство выпускаемой промышленностью модельной радиоаппаратуры предназначено для работы именно на этой рабочей частоте. Меньше используются полосы частот 13,56 МГц±6,78 кГц и 433,92 МГц±868 кГц. Широкому использованию рабочей частоты 13,56 МГц препятствуют неблагоприятный КПД антенны (или неприемлемая ее длина) и узкая полоса частот, разрешающая одновременную работу лишь двух комплектов очень узкополосной цифровой аппаратуры. Следовательно, эта частота более пригодна для работы аппаратуры самостоятельного изготовления, но при работе на ней следует считаться с вероятностью появления большого числа помех.

Благодаря малой длине антенны и, как результат, ее более высокому КПД, а также широкой полосе пропускания, составляющей 1736 кГц, наиболее выгодной является рабочая частота 433,92 МГц. Кроме того, вследствие более благоприятных условий распространения радиоволн на этой частоте вероятность появления помех здесь невелика. Правда, технические трудности реализации аппаратуры, работающей на такой высокой частоте, до сих пор сдерживают широкое использование этой полосы частот.

Полоса частот 27,12 МГц±±0,6%, кроме дистанционного управления моделями, в ряде стран используется для научных, промышленных и медицинских целей, а также для работы малогабаритной радиотелефонной аппаратуры. Высокочастотная научная, промышленная и медицинская аппаратура не имеет никаких ограничений мощности, хотя для повышения экономичности ее работы свободное излучение следует поддерживать малым. Поэтому на работу аппаратуры дистанционного управления моделями в этой полосе частот могут оказывать влияние помехи.

Для установки малогабаритной радиотелефонной аппаратуры и работы с нею на частотах от 26, 96 до 27, 28 МГц при мощности до 100 мВт и при интервале между каналами 20 кГц в ГДР предусмотрены следующие четыре группы каналов:

I. 26,96; 27,05. 27,13 и 27,21 МГц;
II. 26,99; 27,07. 27,15 и 27,23 МГц;
III. 27,01; 27,09; 27,17 и 27,25 МГц;
IV. 27,03; 27,11; 27,19 и 27,27 МГц.

Эти группы распределяются между разными потребителями аппаратуры.

С учетом тенденции к разработке все более узкополосных приемников для аппаратуры дистанционного управления моделями, проявляющейся во всем мире, в табл. 2 дана разбивка используемых в моделизме каналов с интервалом 10 кГц, которыми можно одновременно пользоваться при интервале между соседними каналами, равном 20 кГц. Такое распределение каналов возник-

Таблица 2

Разбивка полосы частот 27,12 МГц на каналы

Номер канала	Отличительный цвет	Частота кварцевого резонатора передатчика, МГц	Частота кварцевого резонатора приемника (МГц) при промежуточной частоте	
			460 кГц	455 кГц
1		26,965	26,505	26,510
2	Черный	26,975	26,515	26,520
3		26,985	26,525	26,530
4	Коричневый	26,995	26,535	26,540
5		27,005	26,545	26,550
6		27,015	26,555	26,560
7	Коричневый и красный	27,025	26,565	26,570
8		27,035	26,575	26,580
9	Красный	27,045	26,585	26,590
10		27,055	26,595	26,600
11		27,065	26,605	26,610
12	Красный и оранжевый	27,075	26,615	26,620
13		27,085	26,625	26,630
14	Оранжевый	27,095	26,635	26,640
15		27,105	26,645	26,650
16		27,115	26,655	26,660
17	Оранжевый и желтый	27,125	26,665	26,670
18		27,135	26,675	26,680
19	Желтый	27,145	26,685	26,690
20		27,155	26,695	26,700
21		27,165	26,705	26,710
22	Желтый и зеленый	27,175	26,715	26,720
23		27,185	26,725	26,730
24	Зеленый	27,195	26,735	26,740
25		27,205	26,745	26,750
26		27,215	26,755	26,760
27	Зеленый и синий	27,225	26,765	26,770
28		27,235	26,775	26,780
29		27,245	26,785	26,790
30	Синий	27,255	26,795	26,800
31		27,265	26,805	26,810
32		27,275	26,815	26,820

ло исторически и в настоящее время принимается за основу при проведении международных соревнований. При более рациональном использовании полосы частот — даже при интервале между каналами 20 кГц — можно работать одновременно на 16 комплектах аппаратуры дистанционного управления вместо 12, как это имеет место сейчас.

Изготовители приемников, имеющих очень узкую полосу пропускания, используют появляющиеся за счет этого «окна» и занимают перечисленные в табл. 3 каналы. Благодаря этому становится возможной одновременная работа уже 19 комплектов аппаратуры дистанционного управления.

С целью оптимального использования полосы частот 27,12 МГц разбивку ее на каналы стремятся осуществить с шагом 10 кГц. В отношении использования радиотелефонных устройств, аппаратуры дистанционного управления и другой наземной и нестационарной радиоаппаратуры это означает, что передатчик и приемник должны работать при полосе пропускания по высокой частоте 8 кГц и при подавлении излучения за пределами этой полосы 23 дБ, т. е. интервал надежности составляет в этом случае 4 кГц. Использование полосы пропускания по высокой частоте 8 кГц при амплитудной модуляции обусловливает полосу пропускания по низкой частоте, равную 4 кГц. Уже отсюда видно, что аппаратура, отвечающая таким высоким требованиям, должна иметь специальное схемное решение, высокий технический уровень разработки и должна быть подвергнута более строгому контролю.

Таблица 3

Разбивка полосы частот 27,12 МГц на каналы при использовании узкополосных приемников, имеющих полосу пропускания по низкой частоте менее 3,5 кГц при избирательности по соседнему каналу 23 дБ

Номер канала	Отличительный цвет	Частота кварцевого резонатора передатчика, МГц
2	Черный	26.975
4	Коричневый	26.995
5/6	Черный и коричневый	27.010
7	Коричневый и красный	27.025
9	Красный	27,045
10/11	Черный и красный	27.060
12	Красный и оранжевый	27,075
14	Оранжевый	27.095
15/16	Черный и оранжевый	27.110
17	Оранжевый и желтый	27,125
19	Желтый	27.145
20/21	Черный и желтый	27.160
22	Желтый и зеленый	27.175
24	Зеленый	27,195
25/26	Черный и зеленый	27,210
27	Зеленый и синий	27,225
28/29	Черный и синий	27,240
30	Синий	27,255
32	Черный и фиолетовый	27,275

Полоса частот 433 МГц разбита на каналы с шагом

50 кГц (табл. 4). Благодаря этому здесь получают более благоприятные условия в отношении полосы пропускания. О том, что технические проблемы, возникающие при разработке ультравысокочастотной аппаратуры, не становятся менее значительными, а лишь получают иное содержание, будет сказано ниже.

Наряду с упомянутой выше радиотелефонной аппаратурой малой мощности на частотах 27,12 и 433 МГц работает ряд стационарных и мобильных радиоустройств мощностью от нескольких десятков до нескольких сотен ватт. Если условия распространения поверхностных и пространственных волн благоприятны и источник помех работает в полосе пропускания приемника, то помехозащищенность обеспечивается лишь сменой канала.

Таблица 4

Разбивка полосы частот 433 МГц на каналы (выделенные каналы являются основными)

Номер канала	Отличительный цвет	Частота кварцевого резонатора передатчика, МГц
66		433,10
67	Черный	433,15
68		433,20
69		433,25
70	Черный и коричневый	433,30
71		433,35
72		433,40
73	Коричневый	433,45
74		433,50
75		433,50
76		433,60
77	Коричневый и красный	433,65
78		433,70
79	Красный	433;75
80		433,80
81		433,85
82	Красный и оранжевый	433,90
83		433,95
84		434,00
85	Оранжевый	434,05
86		434,10
87		434,15
88	Оранжевый и желтый	434,20
89		434,25
90		434,30
91	Желтый	434,35
92		434,40
93		434,45
94	Желтый и зеленый	434,50
95		434,55
96		434,60
97	Зеленый	434,65
98		434,70
99		434,75

Возможно только одно средство для снижения влияния высокочастотных научных, промышленных и медицинских приборов — это достаточно большое удаление от них. Радиостанции создают помехи радиоприемникам аппаратуры дистанционного управления моделями в коротковолновом диапазоне за счет высокой напряженности поля (приемник перегружается и теряет чувствительность) или перекрестной модуляции. Некоторые помехи

появляются только на определенной высоте над земной поверхностью, поэтому контрольный приемник может иногда и не обеспечивать абсолютную гарантию отсутствия помех, даже если он их не фиксирует.

Если в зоне действия модели постоянно имеется достаточно большая напряженность поля, то влияние помех можно снизить еще одним способом, не «отпуская» модель слишком далеко. Максимальное расстояние, на котором она еще хорошо контролируется, составляет примерно 500 м.

Напряженность создаваемого передатчиком поля около приемника зависит также от ориентации передатчика (направления передающей антенны) и размещения антенны на модели или внутри нее. Место, где производится дистанционное управление моделями, должно быть свободно от отражающих объектов, таких как водные поверхности, заборы из проволочной сетки, близко расположенные друг от друга холмы и т. д., так как отражение волн от них также может снижать напряженность поля около приемника.

В зависимости от типа аппаратуры дистанционного управления при всегда имеющемся шуме отношение сигнал/шум может быть различным. На аппаратуру дискретного дистанционного управления источник помех может воздействовать только тогда, когда он работает в полосе пропускания приемника и одновременно в полосе пропускания каскадов тональных частот. Это двойное условие редко выполняется, поэтому аппаратура дискретного управления отличается большой помехоустойчивостью и требует обеспечения небольшого значения отношения сигнал/шум.

В современной цифровой аппаратуре пропорционального дистанционного управления используют передачу типа *A9* (табл. 5). При такой передаче производится прерывистое излучение несущей частоты, а информация содержится в различной ширине излучаемых импульсов. При наименьшей длительности импульса, равной 1 мс, и при крутом его фронте полоса пропускания приемника по низкой частоте должна составлять 5 кГц. Если источник помех работает в этой полосе, то возможен отказ приемника под воздействием помехи. Поэтому цифровая аппаратура дистанционного управления требует обеспечения большего интервала между полезным и помеховым сигналами, чем аппаратура дискретного управления, что, в свою очередь, вызывает потребность для нее более высокой мощности оконечного каскада передатчика. В результате при увеличении отношения сигнал/шум в два раза мощность должна быть увеличена вчетверо, а при одинаковых источниках питания время работы передатчика сократится.

Повышенная выходная мощность передатчика при использовании цифровой аппаратуры увеличивает дальность ее действия, но предназначена в пер-

вую очередь для увеличения отношения сигнал/шум, т. е. защиты от воздействия внешних помех

Таблица 5

Типы передачи

Амплитудная модуляция

A0	Отсутствие какой-либо модуляции
A1	Телеграфия без использования модуляции звуковой частотой (манипуляция включением-выключением)
A2	Телеграфия с модуляцией тональной частотой (например, в аппаратуре дискретного дистанционного управления)
A3	Телефония, две боковые полосы, без подавления несущей частоты
A3a	Телефония, одна боковая полоса, уменьшенный уровень несущей частоты
A3b	Телефония, две независимые друг от друга боковые полосы частот, с уменьшенным уровнем несущей частоты
A4	Радиофототелеграфия
A5	Телевидение
A9	Смешанные передачи (например, цифровая с амплитудно-модулированной)
A9c	Смешанные передачи, с уменьшенной несущей частотой

Частотная или фазовая модуляция

F0	Отсутствие какой-либо модуляции
F1	Частотная манипуляция
F2	Телеграфия с модуляцией тональной частотой
F3	Телефония
F4	Радиофототелеграфия
F5	Телевидение
F9	Смешанные передачи (например, цифровая с амплитудно-модулированной)

Импульсная модуляция

P0	Отсутствие какой-либо модуляции
P1	Телеграфия без модуляции
P2	Телеграфия с помощью манипулирования частотой модуляции или с помощью манипулирования модулированными импульсами
P2d	Амплитудно-импульсная модуляция
P2e	Широтно-импульсная модуляция
P2f	Фазово-импульсная модуляция
P3	Телефония
P3d	Телефония, амплитудно-импульсная модуляция
P3e	Телефония, широтно-импульсная модуляция
P3f	Телефония, фазово-импульсная модуляция
P9	Смешанные передачи и случаи, не указанные выше

Для повышения помехоустойчивости используются частотная модуляция или вспомогательная несущая частота, как это сделано в аппаратуре *Digilog*. Частотная модуляция требует применения кварцевого резонатора для стабилизации частоты, использование вспомогательной несущей частоты требует преодоления значительных технических трудностей, поэтому стоимость такой любительской аппаратуры дистанционного управления пока очень велика. Здесь открыто поле деятельности для самостоятельных разработок моделистов. С реализацией этих решений связаны также некоторые проблемы воздействия внешних помех.

3. Кодирование команд

3.1. Введение

Задачей кодирования команд является преобразование команд так, чтобы каждой из них соответствовал определенный электрический сигнал. В ходе длительного развития любительской аппаратуры дистанционного управления были разработаны разнообразные методы кодирования и декодирования команд. Но на практике оправдали себя лишь некоторые из них.

Для одноканальной аппаратуры дискретного дистанционного управления простейшим остается релейный каскад переключения исполнительного механизма, управляемый шумовым напряжением. Кодирование производится включениями или выключениями передатчика. Приемник оценивает (декодирует) команду передатчика лишь в виде включений или выключений реле. Долгое время моделисты вынуждены были довольствоваться этой простой схемой, и на ее принципе была даже разработана аппаратура пропорционального дистанционного управления. Здесь этот релейный каскад кратко рассмотрен потому, что для первых шагов в управлении моделями на расстоянии он до сих пор

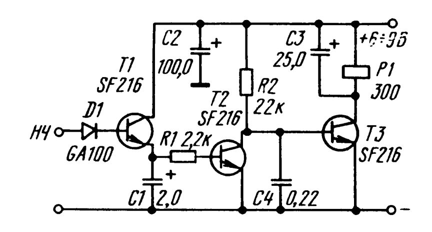


Рис. 9
Релейный каскад переключения, управляемый шумовым напряжением

остается непревзойденным по своей простоте.

При выключенном передатчике на выходе сверхрегенеративного приемника появляется большое шумовое напряжение. Если затем включить передатчик, то на сверхрегенеративный детектор начинает поступать немодулированный высокочастотный сигнал. Это явление используется для управления релейным каскадом (рис. 9). Напряжение шума выпрямляется диодом *D1* и подается на базу транзистора *T1*. Благодаря этому открываются транзисторы *T1* и *T2*. База транзистора *T3* через резистор *R2* соединена с массой, поэтому *T3* заперт, а реле *P* (300 Ом) обесточено, т. е. его якорь отпущен. Когда передатчик включен, шум исчезает, транзисторы *T1* и *T2* запираются, *T3* же открывается и якорь реле притягивается. Чувстви-

тельность каскада зависит от того, установлен ли германиевый или кремниевый диод *D1*. Каскад должен срабатывать только при максимальной амплитуде шумового напряжения. Выполнение этого условия определяет максимальную дальность действия, так как даже небольшое изменение шумового напряжения на пределе дальности действия может вызвать притяжение якоря реле.

Для того чтобы аппаратура дистанционного управления имела несколько каналов, необходимо применять иные методы кодирования. Следующим шагом в развитии такой аппаратуры было обеспечение работы каждого канала на фиксированной низкой частоте. Образцы аппаратуры дискретного дистанционного управления в таком варианте имеют до десяти каналов при возможности одновременной работы трех каналов. При относительно небольшой сложности эта аппаратура обеспечивает хорошие результаты.

Основным недостатком аппаратуры является постоянство угла отклонения руля. Для преодоления этого недостатка были разработаны варианты аппаратуры пропорционального дистанционного управления, кодируемые низкой частотой. Но сложность аппаратуры быстро возрастала, а надежность не отвечала требованиям. И только развитие цифровой техники позволило даже любителям при относительно небольшой сложности элементов и схемных решений построить аппаратуру пропорционального дистанционного управления, способную обеспечить одновременную передачу команд по всем каналам. Вместе с тем благодаря своей простоте развивалась и техника низкочастотного кодирования в аппаратуре дискретного дистанционного управления. В следующих разделах рассмотрены различные варианты схем, положительно себя зарекомендовавшие.

3.2. Частотное кодирование

3.2.1. Частотное кодирование дискретных команд

Прежде чем рассмотреть схемы, предназначенные для частотного кодирования, следует проанализировать важнейшие связанные с ним проблемы

Каждому каналу дистанционного управления должна соответствовать совершенно конкретная фиксированная низкая частота. Если принято, что передача должна вестись по десяти каналам, то необходимо выбрать пригодную для них полосу низких частот. Чтобы полоса пропускания канала связи не была слишком широка, фиксированные частоты командных каналов следует выбирать по возможности более низкими. Но низкие частоты приводят к необходимости использовать элементы, имеющие относительно большой объем, что особенно нежелательно в приемнике. Из табл. 6 можно видеть, какие распределения фиксированных низких частот по

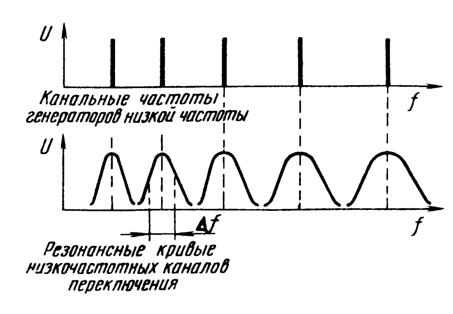


Рис. 10
Разбивка полосы пропускания по низкой частоте для кодирования и декодирования

каналам оправдали себя на практике.

Что нужно учитывать при выборе частоты канала в заданном низкочастотном диапазоне? Согласно рис. 10 каждой частоте канала на стороне передатчика соответствует точно такая же частота на стороне приемника. Низкочастотный контур, применяемый для декодирования, характеризуется особой формой резонансной кривой (колоколообразной). Кривая обусловливает прохождение команды только в определенном диапазоне Δf, в котором может располагаться низкая частота, не приводя к отказам в выполнении команд.

Однако диапазон срабатывания низкочастотного каскада включения нельзя выбирать слишком большим, чтобы не было взаимовлияния соседних каналов. Резонансные кривые должны быть по возможности более высокими, но не перекрывать друг друга. Это достигается достаточным разносом частот каналов по отношению друг к другу.

Если генератор низкой частоты генерирует только одно синусоидальное колебание, то сигнал во время передачи, как правило деформированный, в большинстве случаев сильно ограничивают. Однако при этом сохраняется основное колебание (рис. 11), но возникают гармоники, частоты которых кратны основной частоте. Эти гармоники могут иметь такие большие амплитуды, что способны вызвать срабатывание соседних низкочастотных каскадов переключения приемника. Для предотвращения этого гармоники должны лежать в промежутках между резонансными кривыми. Другими словами, каналу, имеющему более высокую частоту, нельзя назначать частоту,

Рис. 11
Образование гармоник при ограничении синусоидального сигнала

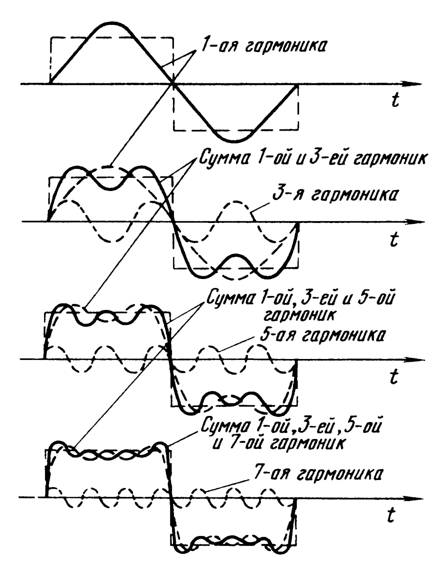


Таблица 6

Распределение фиксированных низких частот по каналам в различных образцах аппаратуры дистанционного управления, кГц

Simton Start	*Grundig (Varioton)*	*Hoyer*	*Telecont*	*Junior 5*
0,890	0,825	0,750	2,140	1,540
1,080	1,110	0,900	3,020	2,000
1,320	1,700	1,080	3,930	2,500
1,610	2,325	1,320	5,100	3,000
1,970	3,000	1,610	6,300	3,670
2,400	3,670	1,970	7,500	
2,940	4,300	2,400	8,700	
3,580	5,700	2,940	10,000	
4,370	6,350	3,580	11,600	
5,310	7,150	4,370		
		5,310		
		6,500		

кратную частоте более низкочастотного канала. Этому условию отвечают распределения каналов, указанные в табл. 6. Таким образом, к генераторам низкой частоты передатчиков предъявляются следующие требования:

достаточно постоянная генерируемая частота;

безотказное функционирование во всем требуемом частотном диапазоне;

синусоидальное по возможности напряжение низкой частоты;

возможность изменения частоты простым способом;

соответствие предыдущим требованиям при минимальном количестве необходимых элементов.

В принципе каждая схема генератора колебаний содержит один усиливающий элемент (транзистор) и одну соответствующую ему цепь обратной связи, предназначенную для подачи на вход усиливающего элемента напряжения, снятого с его выхода и соответствующего по абсолютной величине и фазе входному напряжению. Для возбуждения и поддержания колебаний необходима положительная обратная связь (рис. 12). В *LC*-генераторах низкой частоты цепь обратной связи образована из цепочки *LC*. В каче-

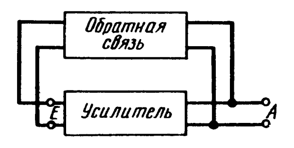


Рис. 12
Блок-схема генератора низкой частоты

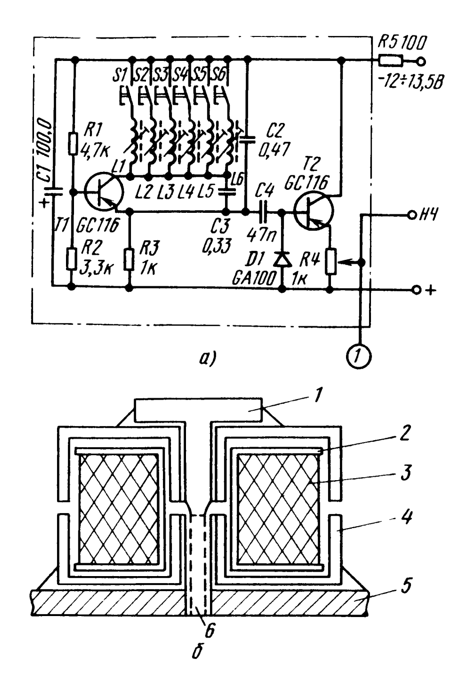


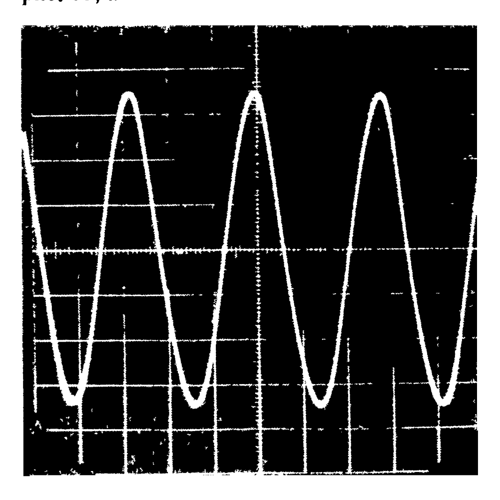
Рис. 13
Генератор низкой частоты на базе схемы Колпитца (емкостная трехточка) в аппаратуре *Start*. Рабочая частота передатчика 27,12 МГц Канальные частоты: канал *1*—890, канал *2*—1080, канал *3*—1320, канал *4*—1610, канал *5*—1970, канал *6*—2400 Гц; *а* — принципиальная схема; *б* — броневой сердечник для катушки колебательного контура; *1* — резьбовой (М2,3) латунный подстроечник, *2* — каркас, *3* — катушка, *4* — половинка броневого сердечника, приклеенная к плате, *5* — плата, *6* — втулка с внутренней резьбой М2,3

стве примеров ниже рассмотрены три таких генератора.

В основу генератора низкой частоты, представленного на рис. 13, положена схема Колпитца — трехточечная схема генератора с емкостной связью, использованная в аппаратуре дистанционного управления *Start* при номиналах элементов, указанных на рисунке. Транзистор работает по схеме с общей базой. Резисторы делителя напряжения базы не зашунтированы. Отрицательная обратная связь приводит к тому, что генератор низкой частоты вырабатывает чистое синусоидальное напряжение (рис. 14). Глубина обратной связи определяется величинами емкостей конденсаторов *C2* и *C3*.

Схема Колпитца имеет то преимущество, что при использовании броневых сердечников, позволяющих производить подстройку индуктивности, можно точно настраивать частоты каналов. Однако соотношение величин *L* и *C* оказывает влияние на амплитуду напряжения низкой частоты, поэтому при одной комбинации *C2*/*C3* можно генерировать не более шести частот.

Рис. 14
Выходное напряжение генератора низкой частоты, представленного на рис. *13*, *а*



Частота генератора низкой частоты мало зависит от колебаний температуры окружающей среды и напряжения питания. Влияние нагрузки последующих каскадов в большом диапазоне режимов работы исключено преобразователем полного сопротивления, собранным на транзисторе *T2*. Частоту этого генератора низкой частоты можно рассчитать по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}, \tag{1}$$

которая с учетом

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3}, \tag{2}$$

или

$$C_{ges} = \frac{C2 \cdot C3}{C2 + C3}, \tag{3}$$

где C_{ges} — полная емкость, сводится к виду

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{L}\left(\frac{1}{C2} + \frac{1}{C3}\right)}, \tag{4}$$

где

$$L = \omega^2 \cdot A_L. \tag{5}$$

Наибольшее влияние на колебания частоты оказывают температурные изменения номиналов элементов колебательного контура. С помощью уравнения (4) можно найти отклонение частоты

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta C}{C}\right). \tag{6}$$

Значения ΔL и ΔC определяют по температурным коэффициентам соответствующих элементов схемы. Следовательно, для качественной стабилизации частоты необходимо подбирать элементы так, чтобы их температурные коэффициенты были или очень малы или по возможности компенсировали друг друга.

Для катушек выбирают броневые сердечники с воздушным зазором, а конденсаторы — на основе синтетических пленок (полипропиленовые, полистирольные). При использовании броневых сердечников с воздушным зазором с помощью подстроечника частоту можно снизить на 5% и более по сравнению с расчетным значением. Характеристики броневых сердечников приводятся в технических условиях и справочной литературе. Если необходимо использовать броневой сердечник, обладающий максимальным значением A_L, но в то же время иметь широкий диапазон подстройки, в отверстия броневого сердечника вклеивают резьбовые штифты.

Посредством преобразований уравнений (4) и (5) можно получить формулу для расчета числа витков катушки

$$\omega = \frac{1}{2\pi f}\sqrt{\frac{1}{A_L}\left(\frac{1}{C2} + \frac{1}{C3}\right)}. \tag{7}$$

С ее помощью можно рассчитать число витков для каждого канала.

Следствием больших допусков на изготовление броневых сердечников является разброс их параметров. Точную настройку частоты канала можно произвести после дора-

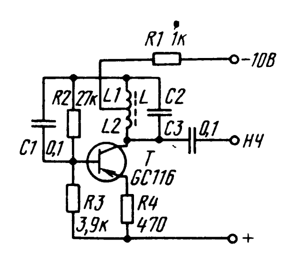


Рис. 15
Генератор низкой частоты, выполненный по схеме Хартлея (индуктивная трехточка). Емкость конденсатора *C2* выбирается в зависимости от требуемой низкой частоты Катушка *L* имеет вывод от средней точки

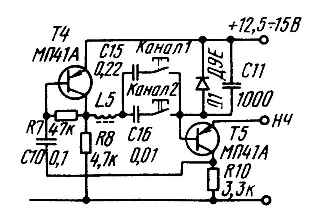


Рис. 16
Двухкаскадный генератор низкой частоты с *LC*-обратной связью (аппаратура *Пилот*)

ботки сердечников в соответствии с рис. 13, *б*.

Такого же эффекта, который получают при использовании обратной связи с помощью емкостного делителя напряжения, можно достичь при использовании индуктивного делителя напряжения (рис. 15). Для этого достаточно одного конденсатора. Правда, для прекращения колебаний *L* и *C2* должны быть отключены одновременно, так как генератор низкой частоты даже при отключенном конденсаторе колебательного контура будет продолжать колебания со значительно более высокой частотой за счет паразитных емкостей (катушки, элементов схемы).

Тональный генератор, выполненный по схеме Хартлея, отличается даже при самом низком напряжении питания большой устойчивостью колебаний и высокой стабильностью частоты. Перегрузка транзистора и искажение синусоидального сигнала предотвращаются благодаря соответствующему выбору глубины обратной связи с помощью резистора *R4*. Поскольку тональный генератор имеет высокоомный выход, для защиты от влияния колебаний нагрузки необходимо использовать преобразователь полного сопротивления так, как это сделано в схеме рис. 13, *а*.

Частоту колебаний можно рассчитать по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{C \cdot (L1 + L2)}}. \qquad (8)$$

Для схемы, представленной на рис. 15, в этой формуле необходимо принять $L1 = L2$.

По другому принципу осуществлена обратная связь в тональном генераторе аппаратуры дистанционного управления *Пилот*, выпускаемой в СССР (рис. 16). Сдвиг фазы на 180° для самовозбуждения производится вторым усилительным каскадом. В цепи обратной связи установлен последовательный *LC*-колебательный контур, осуществляющий обратную связь только для колебаний резонансной частоты. Для канала *1* частота определяется формулой

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L5 \cdot C15}}, \qquad (9)$$

а для канала *2* — этой же формулой, но при замене *C15* на *C16*.

Незашунтированные резисторы *R8* и *R10* в цепи эмиттера осуществляют сильную отрицательную обратную связь, поэтому усиление каскада сильно снижается, а на выходе появляется синусоидальное напряжение.

По сравнению со схемами генераторов низкой частоты, в которых в качестве определяющего частоту элемента использован колебательный контур, генерирование колебаний можно осуществить также и с помощью *RC*-колебательных контуров. Если в одно- или двухкаскадном усилителе с помощью обратной связи подать на вход часть выходного переменного напряжения, соответствующего по фазе и имеющего достаточную амплитуду, то усилитель самовозбудится. Приемлемым делителем напряжения в этом случае является схема Вина. Она состоит из последовательной и параллельной *RC*-цепочек, включенных последовательно. Генератор с мостом Вина использован в передатчике *Variophon 2* (рис. 17). Цепь обратной связи собрана на *R1, R2, C1, C2* и *C3, R7* для одного канала и на *R3, R4, C2* и *C3, R7* — для других каналов. Частота колебаний генератора, в котором применен мост Вина, может быть рассчитана для канала *1* (см. рис. 17) по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(R3 + R4)\,R7 \cdot C2 \cdot C3}}. \qquad (10)$$

За счет незашунтированного резистора *R9* в цепи эмиттера, частично зашунтированных резисторов *R15*, *R24* и глубокой, но устойчивой к колебаниям температуры отрицательной обратной связи через *R12* и *C4* усиление каскада сильно снижено, поэтому на выходе появляется чистое синусоидальное напряжение.

В аппаратуре дистанционного управления с одновре-

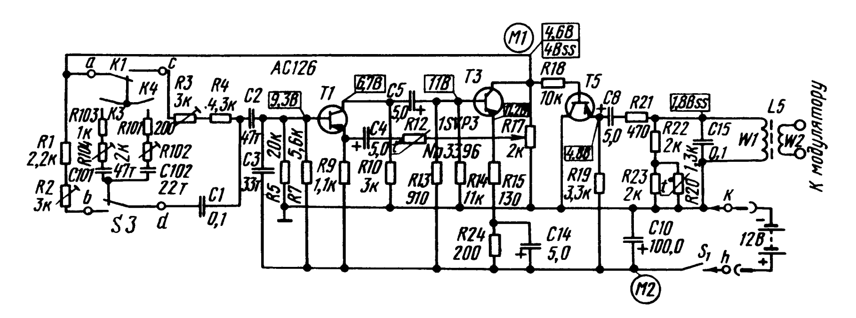


Рис. 17

Генератор низкой частоты, выполненный с использованием моста Вина (передатчик *Variophon 2*) Трансформатор *L5* намотан в броневом сердечнике 10×6,5 W_1 — 55, W_2 — 250 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,05 мм

менной передачей команд низкочастотные кодированные команды выбранных каналов через формирователь команд подаются на модулятор высокой частоты, излучаются в пространство, принимаются приемником, демодулируются и подаются на соответствующие исполнительные механизмы (рис. 18). Задачу обеспечения правильности подачи принятой команды на соответствующий исполнительный механизм выполняет декодирующее устройство. Каскады, включенные между кодирующим и декодирующим устройствами, рассмотрены в следующих разделах. В этом же разделе описаны схемы, используемые в передатчике для кодирования и в приемнике для декодирования.

Большинство схем, предназначенных для частотного кодирования команд, основано на использовании способности LC-колебательных контуров к частотной селекции. При выборе метода частотной селекции для аппаратуры дистанционного управления моделью необходимо учитывать различные параметры, такие как надежность, масса, размеры, тип приемника (полоса пропускания) и, не в последнюю очередь, цена. Любой из методов частотной селекции не отвечает полностью всем требованиям. Рассмотренные ниже схемы выбраны из использованных в аппаратуре дистанционного управления, оправдавшей себя на практике. Рабочая полоса пропускания LC-каскада переключения B составляет примерно 10%. Это

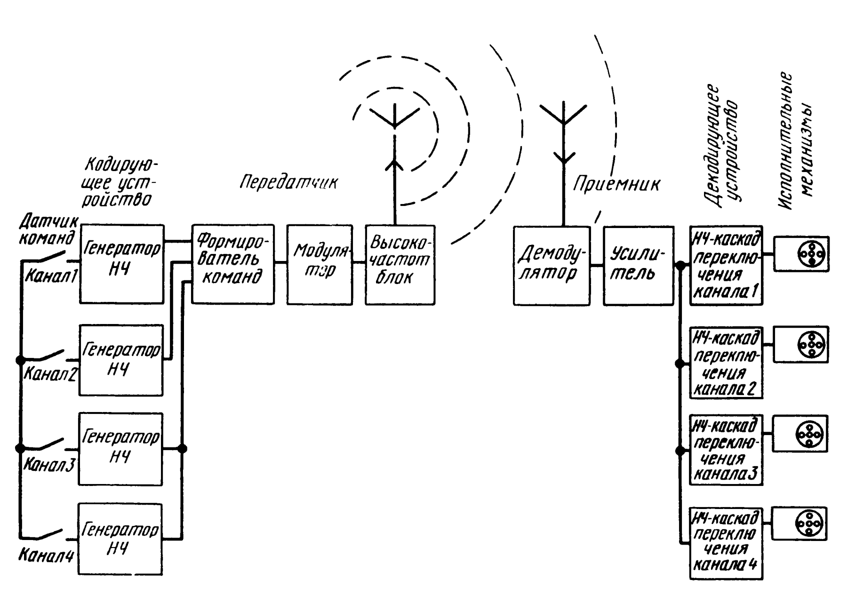


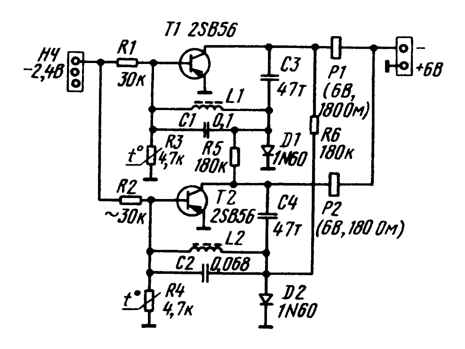
Рис. 18
Схема, поясняющая прохождение сигнала от датчика команды до исполнительного механизма

обеспечивает достаточно большой интервал между частотами каналов (см. рис. 10) и позволяет использовать один широкополосный приемник для работы на нескольких каналах.

Работу каскада переключения можно пояснить на примере схемы, представленной на рис. 19. Так как оба каскада, составляющие эту схему, симметричны, кроме значений *L* и *C* колебательных контуров, достаточно рассмотреть работу только одного, например первого каскада.

Этот каскад переключения представляет собой усилитель переменного напряжения. Нагрузкой является реле *P1* (180 Ом), а параллельный колебательный контур, образованный из *L1* и *C1*, включен в цепь отрицательной обратной связи. Так как колебательный контур с помощью конденсатора *C3* блокирован от поступления постоянного напряжения, отрицательная обратная связь срабатывает только при наличии переменного напряжения.

Рис. 19
Двухканальный релейный каскад переключения (приемник *Varioton*)



Обратная связь минимальна, если сопротивление в ее цепи велико. При использовании параллельного колебательного контура это имеет место в случае резонанса. При всех других частотах *L1* или *C1* имеют настолько малое сопротивление, что из-за сильной обратной связи каскад усиливает сигнал незначительно. Благодаря свойству усиливать только переменные напряжения, частоты которых близки к резонансной частоте параллельного колебательного контура,— с помощью такого каскада из смеси частот, подаваемой на усилитель низкой частоты, можно отфильтровать лишь те из них, которые попадают в узкую полосу частот.

Резистор *R1* повышает внутреннее сопротивление источника сигнала и осуществляет развязку отдельных каскадов переключения. Так как на этом резисторе падает часть напряжения низкой частоты, сопротивление его должно быть по возможности меньше. И наоборот, с помощью этого резистора можно снизить чувствительность срабатывания каскада и тем самым уменьшить разницу между чувствительностями отдельных каскадов.

Если через развязывающий резистор *R1* на базу транзистора *T1* поступит переменное напряжение, частота которого равна или близка к резонансной частоте параллельного колебательного контура, то из-за слабой отрицательной обратной связи по этой частоте напряжение сигнала усилится и это приведет к падению напряже-

ния на сопротивлении обмотки реле. Переменное напряжение, развивающееся на коллекторе, через разделительный конденсатор $C3$ поступает на диод $D1$. Выпрямленный диодом ток, протекающий через катушку $L1$ участка база-эмиттер транзистора $T1$ и управляющий работой этого транзистора, приводит к притягиванию якоря реле.

Большое усиление мощности в такой схеме достигается благодаря двойному использованию транзистора: в качестве усилителя переменного и в качестве усилителя постоянного напряжений. Делитель напряжения базы $R3$, $R5$ осуществляет однозначное фиксирование рабочей точки транзистора $T1$ в неуправляемом состоянии. За счет этого надежно обеспечено отпускание якоря реле при температурах, превышающих нормальную для работы транзистора.

При расчете и постройке каскада включения все схемы переключения, для обеспечения примерно одинаковых чувствительностей срабатывания, должны быть собраны на транзисторах, обеспечивающих примерно одинаковое усиление тока ($h_{21E} \geqslant 100$). Кроме того, чувствительность срабатывания и избирательность каскада переключения зависят от добротности колебательного контура. Поэтому следует стремиться к большей добротности колебательного контура, обеспечивающей высокое резонансное сопротивление. Этого можно достичь посредством выбора соотношения L и C. Тогда сопротивление резонанса можно рассчитать по формуле

$$R_0 \approx \frac{L}{C \cdot r}, \qquad (11)$$

где r — сопротивление потерь.

При достаточном приближении можно принять $r \approx R_r$, где R_r — сопротивление потерь на катушке.

Для добротности колебательного контура Q получают выражение

$$Q \approx \frac{\omega_0 \cdot L}{r} \approx \frac{1}{r \cdot \omega_0 \cdot C}. \qquad (12)$$

Посредством соответствующего выбора номиналов L и C можно получить большое резонансное сопротивление LC-колебательного контура, но реактивное сопротивление параллельно включенного транзистора ухудшает добротность, поэтому при выборе величин L и C необходимо идти на компромисс. Резонансную частоту схемы переключения можно рассчитать по уравнению (1), а число витков катушки для заданной частоты и емкости контура — по формуле

$$\omega = \frac{1}{2\pi f} \cdot \sqrt{\frac{1}{A_L \cdot C}}. \qquad (13)$$

При неодновременной передаче команд емкость конденсатора $C3$ в цепи обратной связи принята равной 47 тыс. пФ При одновременной же передаче этот конденсатор, кроме того, предназначен для перекрытия пауз между сигналами, в течение которых якорь реле не должен отпускаться В этом случае емкость конденсатора $C3$ принимают равной 1 — 2 мкФ. Благодаря подклю-

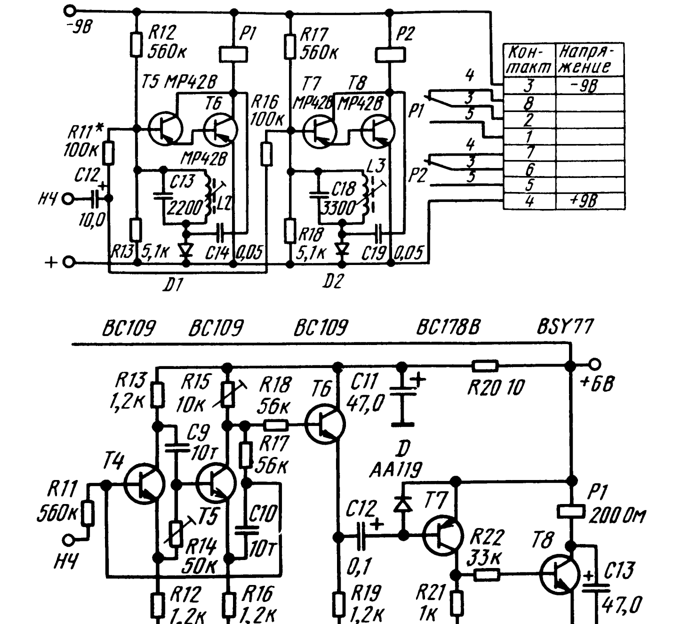


Рис. 20 Двухканальный релейный каскад переключения (аппаратура *Пилот*)

Рис. 21 Релейный каскад переключения, выполненный с использованием *RC*-фильтра (разработка Мюллера-Фогта)

чению делителя напряжения базы к коллектору транзистора схемы переключения соседнего канала исключена вероятность появления перекрестных помех со стороны соседнего канала при больших сигналах.

Очень похож на этот каскад релейный каскад переключения аппаратуры дистанционного управления *Пилот* (рис. 20) Благодаря использованию двух транзисторов в схеме Дарлингтона этот каскад обладает высокой чувствительностью.

Для решения задач селекции наряду со схемами, использующими параллельные колебательные контуры, разработаны также схемы с последовательными колебательными контурами, которые пока не находят применения на практике.

RC-фильтры очень редко применяют в аппаратуре дистанционного управления моделями. Ниже кратко описана схема *RC*-фильтра (рис. 21), предназначенного для селекции каналов при дистанционном управлении с помощью света (см. раздел 4. 4. 2). Фильтр собран на двух транзисторах *T4* и *T5* с их рабочими резисторами и включает две *RC*-цепочки: *C9*, *R14* и *R17*, *C10*. Низкочастотный сигнал поступает через резистор *R11*, обладающий большим омическим сопротивлением, и усиливается транзистором *T4*. Но так как выходной сигнал поступает на коллектор и эмиттер в противофазе и оба рабочих резистора *R12* и *R13* имеют одинаковые сопротивления, усиление снова падает. Следо-

вательно, низкочастотный входной сигнал приходит на базу транзистора *T5* неусиленным, но сдвинутым по фазе в соответствии с величинами *C9* и *R14*.

Рабочие резисторы *R15* и *R16* транзистора *T5* имеют различные сопротивления, поэтому *T5* усиливает низкочастотный сигнал, фаза которого снова сдвигается *RC*-цепочкой *R17*, *C10* и возвращается на вход. Только если оба сдвига фазы одинаковы по величине и по углу, напряжение обратной связи равно нулю, в этом случае *RC*-фильтр работает как селективный усилитель.

Если общий сдвиг фазы на *C9*, *R14* и *R17*, *C10* не равен нулю, то возникает остаточное, поступающее на вход напряжение, которое тем меньше, чем больше отклонение частоты. Таким образом, *RC*-фильтр обладает хорошими селективными свойствами и, кроме того, благодаря наличию транзистора *T5* работает в качестве усилителя низкой частоты

Следует иметь в виду, что коэффициент усиления транзистора *T5* можно регулировать с помощью потенциометра *R15* Но так как при согласовании собственной частоты фильтра и частоты сигнала напряжение низкой частоты по цепи обратной связи подается на вход в той же фазе, может наступить самовозбуждение. В этом случае *RC*-фильтр начинает работать в качестве *RC*-генератора. Максимальной чувствительностью фильтр обладает в состоянии, предшествующем наступлению колебаний.

Так как *RC*-фильтр обладает большим омическим сопротивлением, он должен быть эффективно развязан от остальной схемы резистором *R20* и конденсатором *C11* (со стороны источника питания), а также транзистором *T6*, работающим в качестве преобразователя полного сопротивления. Схема, собранная на транзисторе *T7*, работает как схема постоянного тока. Транзистором *T7* управляют отрицательные полуволны низкой частоты, в то время как положительные полуволны отрезаются диодом *D*. Если *T7* открыт, то *T8* через резистор *R22* также открыт и якорь реле притягивается. Конденсатор *C13* сглаживает остаточное переменное напряжение, поэтому реле срабатывает надежно. Производя настройку *RC*-фильтра с помощью потенциометров *R14* и *R15*, при подаче на вход сигнала добиваются наибольшей громкости сигнала (непосредственно перед началом колебаний), снятого с эмиттера транзистора *T6*

3.2.2. Формирователи команд

Чтобы управляемая на расстоянии модель могла выполнять маневры, подобные маневрам прототипа, необходимо одновременно передавать ей две или три команды, независимые друг от друга. Для этого используют два метода.

Более простым является метод наложения. При этом низкие частоты накладываются друг на друга и модулиру-

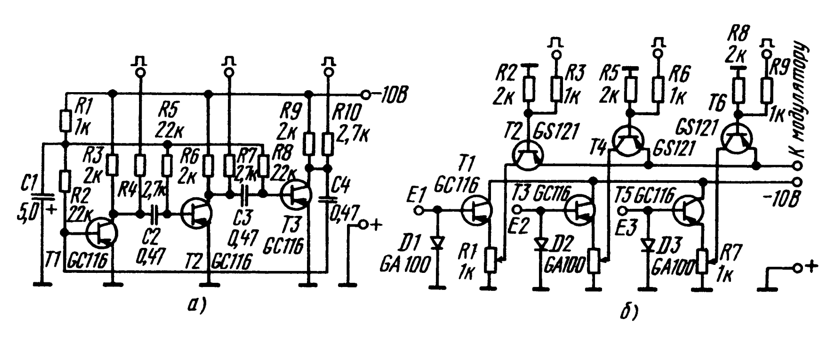
ют несущую частоту смесью низких частот. При одновременной передаче двух команд глубина модуляции высокой частоты для каждого канала составляет лишь 50% Поэтому в приемнике при демодуляции может быть реализовано лишь 50% мощности сигнала. Это отрицательно сказывается на дальности действия аппаратуры. При одновременной передаче трех команд глубина модуляции для одного канала составляет всего 33%.

Этого недостатка лишен метод временного разделения каналов. Для каждого канала глубина модуляции высокой частоты в этом случае равна 100%. Этот метод более выгоден благодаря возможности использования модуляции прямоугольными импульсами.

Передача команд по методу временного разделения каналов производится следующим образом Генераторы низкой частоты с помощью формирователя команд (называемого также вентильным каскадом) попеременно подключаются к усилителю модулирующего напряжения. Манипуляция формирователя команд производится с частотой от 100 до 300 Гц. Механическая инерционность системы управления, установленной на модели, перекрывает время пауз между сигналами.

Работу формирователя команд можно пояснить с помощью схемы, представленной на рис. 22. Генераторы низкой частоты *1*, *2* и *3* имеют входы *E1*, *E2* и *E3*. Формирователь команд подает напряжение низкой частоты на вход модулятора. В качестве генератора тактовых импульсов для него использован автоколебательный мультивибратор. Отрицательные импульсы мультивибратора (см. рис. 22, *а*) попеременно управляют вентильными схемами, собранными на транзисторах *T2*, *T4* и *T6* (см. рис. 22, *б*). Если, например, транзистор *T2* открыт, то транзисторы *T4* и *T6* заперты, т. е. *T4* и *T6* имеют большие омические сопротивления. Благодаря этому генераторы

Рис. 22
Формирователь команд (аппаратура *Simton*): *а* — генератор тактовых импульсов, *б* — вентильные схемы



низкой частоты 2 и 3 не подают напряжение на вход модулятора. Так как в это время транзистор *T2* открыт, то напряжению низкой частоты, поступающему от тонального генератора *1*, он не оказывает никакого сопротивления. Поэтому на модулятор фактически подается только одно напряжение низкой частоты, которое управляет им. Если мультивибратор переключается, то *T4* открывается, а *T2* и *T6* запираются. Этот процесс повторяется постоянно. Модулятор подключает оконечный каскад усиления высокой частоты к источнику питания в такт с низкой частотой.

3.2.3. Исполнительные механизмы для аппаратуры дискретного управления

Существует большое количество типов и конструктивных решений исполнительных механизмов, устанавливаемых на моделях. К ним относятся рулевые машинки, парусные лебедки, переключатели и регуляторы хода, а также специальные устройства для привода, например, якорных лебедок, световых и звуковых датчиков, ракетных установок и т. д Как наиболее представительные в ряду исполнительных механизмов, предназначенных для дискретного управления, в этом разделе рассмотрены только рулевые машинки, классифицируя которые можно выделить следующие основные типы:

не возвращаемые в нейтральное положение;

возвращаемые в нейтральное положение с помощью пружин;

возвращаемые в нейтральное положение с помощью электропривода.

Машинки, не возвращаемые в нейтральное положение, являются наиболее простыми и, следовательно, наиболее дешевыми. К классу таких машинок относится рулевая машинка *MR 64/1* (рис. 23), предназначенная для работы с одноканальной аппаратурой.

При использовании рулевых машинок второго типа рычаг руля при выключении машинки с помощью пружин возвращается в нейтральное положение. Их основным недостатком является довольно большое потребление тока при небольшом усилии, передаваемом на руль. Примером машинки та-

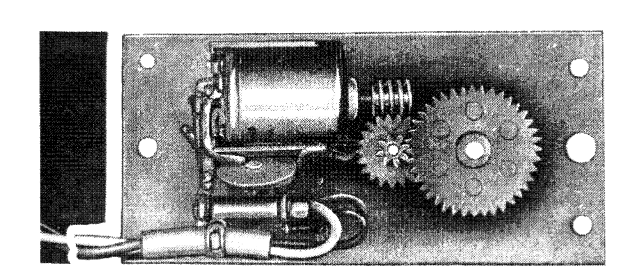


Рис. 23
Одноканальная рулевая машинка *MR 64/1*

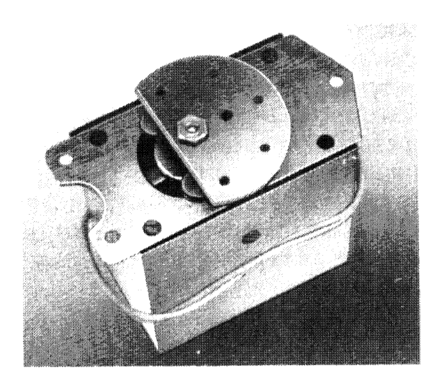


Рис. 24
Двухканальная рулевая машинка *Servomatic*

кого типа является рулевая машинка *Servomatic* (рис. 24) Она содержит двигатель, центробежную муфту включения и редуктор. На оси высокооборотного электродвигателя закреплены кулачки центробежной муфты. При вращении якоря кулачки под воздействием центробежных сил отходят наружу до прижатия их к барабану муфты, приводя его во вращение. Редуктор передает вращательное движение от барабана к сегменту управления в соотношении 200:1. Сегмент поворачивается до упора. В этом положении муфта пробуксовывает, двигатель продолжает вращаться с пониженной частотой вращения, удерживая сегмент и обеспечивая таким образом полное отклонение руля. При выключении двигателя кулачки инерционной муфты отпадают от барабана, а встроенная пружина возвращает сегмент управления и вместе с ним руль в нулевое, или нейтральное, положение.

Рулевые машинки, возвращаемые в нейтральное положение с помощью пружин, могут быть подключены к безрелейным каскадам переключения. Такой мостовой каскад переключения применен в аппаратуре дистанционного управления *Start* (рис. 25). В состоянии покоя транзисторы *T7* и *T7'* заперты, а *T8* и *T8'* открыты. При этом ток через двигатель протекать не

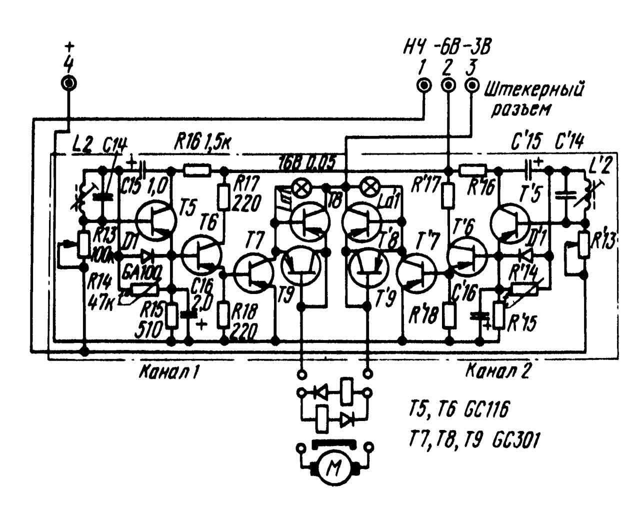


Рис. 25
Мостовой каскад переключения (аппаратура *Start*). Канальные частоты: канал *1* — 890, канал *2* — 1080, канал *3* - 1320, канал *4* — 1610, канал *5* — 11 970, канал *6* 2400 Гц

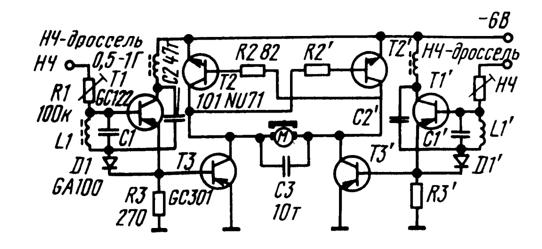


Рис. 26
Мостовой каскад переключения, собранный на транзисторах со взаимодополняющими структурами

может, так как мост находится в равновесии. Если, например, по каналу *1* теперь поступает сигнал управления, то транзистор *T5* открывается, а вместе с ним открываются транзисторы *T6* и *T7*. Поэтому транзистор *T8* переходит в запертое состояние и теперь ток может протекать от положительного полюса — через транзисторы *T7, T9,* двигатель и транзистор *T8'* — к отрицательному.

Если сигнал приходит по каналу *2*, то открывается транзистор *T7*. Теперь ток течет от положительного полюса через транзисторы *T7'*, *T9'*, двигатель и транзистор *T8* к отрицательному, т. е в обратном направлении, изменяя направление вращения двигателя. Транзисторы *T9* и *T9'* включены как диоды. Для прямого включения здесь пригодны любые рулевые машинки, требующие ток 350 мА и напряжение от 2,4 до 4,5 В.

Для компенсации падения напряжения на транзисторах моста напряжение батареи должно быть примерно на 1,5 В больше напряжения, требуемого для рулевой машинки. Если питание приемника и каскада включения осуществляется от одной батареи (6 В), а рулевая машинка требует напряжения меньше 4,5 В, то перед ней необходимо поставить соответствующие гасящие резисторы. Длительность включения рулевых машинок, потребляющих ток до 500 мА, не должна превышать 1 мин.

Мостовой каскад переключения может быть упрощен посредством использования транзисторов типа *n-p-n* (рис. 26) Эмиттер такого транзистора подключается к минусовому полюсу источника питания, и для открытия транзистора требуется подать на его базу положительное напряжение.

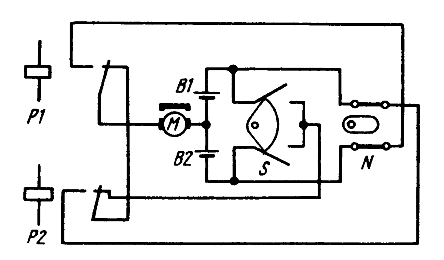
Если принять, что транзистор *T3* открывается по сигналам, поступающим от транзистора *T1*, то к его коллектору приложен положительный потенциал. Но тогда на базу транзистора *T2'* также подается положительное напряжение и он также открыт. При этом другие транзисторы (*T2* и *T3'*) остаются в запертом состоянии, а ток течет от положительного полюса через транзистор *T3*, двигатель и транзистор *T2'* к минусовому полюсу источника питания. Если схему собрать на мощных транзисторах, имеющих меньшее остаточное напряжение, то этот мостовой каскад

можно также использовать для управления ходовым двигателем модели.

В отличие от рулевой машинки, возвращаемой в нейтральное положение с помощью пружин, у рулевой машинки, возвращаемой с помощью электрического привода, рычаг руля приводится в нейтральное положение своим же двигателем, управляемым при этом с помощью релейно-коммутационной схемы. Следовательно, крутящий момент двигателя может быть полностью приложен к рулю в качестве усилия перекладывания. Это является большим преимуществом рулевых машинок такого типа. Как и машинки других вариантов, рулевые машинки, возвращаемые в нейтральное положение с помощью электрического привода, состоят из электродвигателя и редуктора (с передаточным отношением примерно 200:1).

На рис. 27 представлена релейно-коммутационная схема, предназначенная для возвращения рулевой машинки в нейтральное положение. На выходном валу редуктора машинки закреплена сегментная шайба S для возвращения машинки в нейтральное положение и кулачок N для выключения двигателя в крайних положениях. При наладке следует обращать внимание на то, чтобы в среднем положении сегмента оба его контакта были разомкнуты. Положение контактов на рисунке показано для среднего положения сегмента, т. е. при выключенных контактах. Если необходимо, чтобы после возвращения в нейтральное положение машинка не совершала покачиваний относительно среднего положения, следует несколько расширить раскрытие контактов сегмента. Но в большинстве случаев трения и других тормозящих усилий, действующих в рулевом устройстве, достаточно для предотвращения этих покачиваний.

Рис. 27
Схема включения рулевой машинки, возвращаемой в нейтральное положение с помощью электропривода В среднем положении сегментной шайбы S оба ее контакта разомкнуты



3.2.4. Частотное кодирование пропорциональных команд

С разработкой аппаратуры, обеспечивающей одновременную передачу нескольких команд, был сделан значительный шаг вперед в области развития техники управления на расстоянии. Так как аппаратура дистанционного дискретного управления работает при жестко заданных отклонениях руля, от моделиста требуется большой навык для того, чтобы его модель выполняла, подобно прототипу, маневры

под воздействием быстро или медленно следующих друг за другом команд. Крупномасштабные модели, обладающие большой инерционностью, при дискретном управлении сглаживают отдельные кратковременные отклонения руля и еще относительно правдоподобно воспроизводят маневры прототипа. Маленькие же, легкие модели движутся по кривым с более или менее сильными рывками.

Поэтому возникла необходимость разработать такую аппаратуру, которая наряду с одновременной передачей команд обеспечивала бы и их пропорциональность. При использовании такой аппаратуры угол отклонения руля на модели пропорционален углу отклонения ручки управления на передатчике. Современная аппаратура пропорционального дистанционного управления позволяет получать требуемое отклонение руля на модели с точностью более 1%

Принцип действия аппаратуры пропорционального управления можно пояснить на примере одноканальной аппаратуры, в которой передатчик состоит из датчика команд, преобразующего (кодирующего) команду, пропорциональную углу отклонения ручки управления, в пропорциональный этому углу электрический сигнал. Следовательно, положение ручки управления на передатчике определяет заданную величину $X_к$ электрического сигнала, пропорционального углу отклонения этой ручки и передаваемого на модель. В приемнике на выходе усилителя низкой частоты $X_к$ снова имеет вид электрического сигнала, который управляет работой сервоусилителя (рис. 28). Сервоусилитель сравнивает полученное заданное значение $X_к$ с фактическим значением X отклонения руля. Фактическое значение X также имеет вид электрического сигнала и в большинстве случаев снимается с потенциометра, связанного с серводвигателем через редуктор.

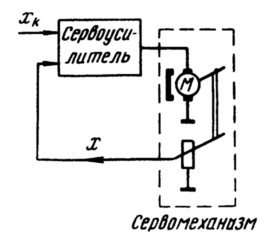


Рис. 28
Блок-схема сервомеханизма

Блок, объединяющий в аппаратуре пропорционального дистанционного управления регулирующий усилитель, двигатель, редуктор и потенциометр, называется с е р в о м е х а н и з м о м, а не рулевой машинкой, как в аппаратуре дискретного управления. Со временем это название — хотя оно и не совсем точное — прочно укоренилось в любительской технике радиоуправления. Поэтому говорят о «серводвигателе», «сервоpедукторе», «сервопотенциометре», «сервоусилителе»

В результате сравнения значений $X_к$ и X на выходе серво-

усилителя появляется сигнал рассогласования $Y = X_к - X$. При равенстве заданного и фактического значений, т. е. при $X_к = X$, рассогласование равно нулю и серводвигатель не включается. Если же воздействием на ручку управления на передатчике изменить величину $X_к$, то рассогласование уже будет отлично от нуля и на выходе сервоусилителя появится соответствующее напряжение. Это напряжение приведет в действие двигатель *M*, и руль изменит положение. Одновременно сдвинется ползунок потенциометра, и величина *X* изменится.

Серводвигатель будет работать до тех пор, пока будет выполнено условие $X_к - X = Y = 0$. При этом руль займет положение, пропорциональное положению управляющей ручки на передатчике.

Если положение руля изменить с помощью внешнего усилия, то на усилитель поступит измененное значение *X*, соответствующее измененному положению ползунка потенциометра. Так как $X \neq X_к$, на серводвигатель будет подаваться напряжение до тех пор, пока снова не будет выполнено условие $X_к - X = Y = 0$. Т. е. для отклонения руля определяющим является только заданное значение $X_к$, а не воздействующие на модель внешние усилия. Величины X, $X_к$ и Y на практике могут иметь вид как постоянного, так и импульсного напряжения.

В случае аналоговой пропорциональной аппаратуры команды управления, пропорциональные углу отклонения ручки, кодируются низкой частотой, величина которой соответственно изменяется. Тогда, например, частота 2,0 кГц соответствует отклонению руля полностью влево. Если же частота увеличена, пусть, до 2,4 кГц, то это будет соответствовать нейтральному положению руля, а частота 2,8 кГц — отклонению его полностью вправо. При промежуточных значениях низкой частоты можно получить любые углы отклонения руля между крайними положениями.

Изменяемую низкую частоту в передатчике получают с помощью автоколебательного мультивибратора. Так как частота его колебаний зависит от напряжения баз транзисторов *T4* и *T2*, то, изменяя его, можно варьировать низкую частоту. В схеме, представленной на

Рис. 29
Тональный генератор для аналоговой одноканальной аппаратуры пропорционального дистанционного управления *Picoprop* В качестве источника питания используются две 6-вольтовые (225 мА·ч) или четыре 1,5-вольтовые батареи

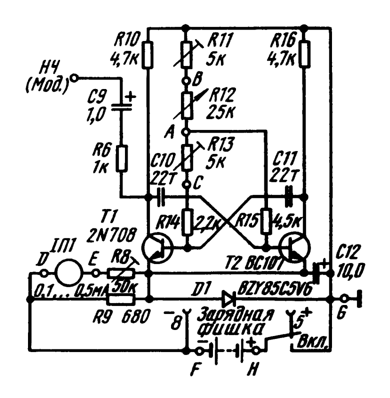


рис. 29, ручка управления связана с осью переменного резистора *R12*. Резистор *R11* дает возможность во время работы подстраивать положение руля, т. е. изменять его нейтральное положение. Чтобы рычаг этого резистора и ручку управления можно было установить в средние положения, предусмотрен подстроечный резистор *R13*, предназначенный для подстройки основной частоты f_0, равной 2,4 кГц. Диод *D1* и резистор *R9* стабилизируют питание генератора низкой частоты.

Рассмотренную схему генератора низкой частоты можно использовать в аппаратуре дискретного дистанционного управления, но при этом подстроечные резисторы (*R11*, *R12*) в базовых цепях должны быть переключаемыми для каждого канала.

Изменяемая низкая частота, получаемая с помощью генератора низкой частоты, поступает на низкочастотный выход приемника и управляет работой низкочастотного дискриминатора (рис. 30). Дискриминатор содержит колебательные контуры *1 (L3, C13)* и *2 (L4, C14)*. Резонансные частоты обоих контуров сдвинуты относительно друг друга (рис. 31). Если на колебательный контур *1* подана частота, равная его резонансной частоте, то на базу транзистора *T7* поступает ток, вызванный усиленным и выпрямленным на резисторе *R13* падением напряже-

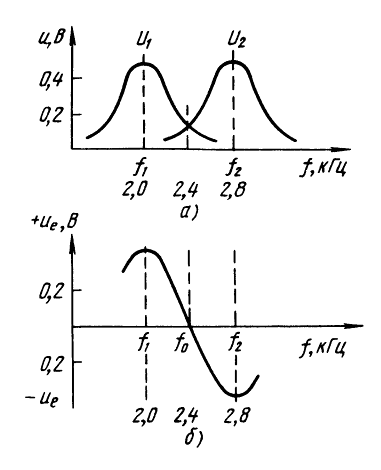
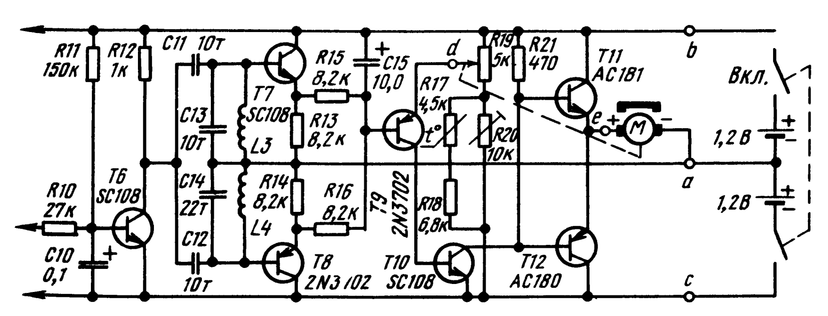


Рис. 31
Характеристики низкочастотного дискриминатора. *а* — резонансные кривые отдельных контуров; *б* — рабочая характеристика

Рис. 30
Декодирующее устройство и сервомеханизм для аналоговой одноканальной аппаратуры *Picoprop*. Двигатель типа *T05* или *T03*. В каждом плече схемы установлен источник питания емкостью 225 мА·ч



ния. Благодаря этому падению напряжения база транзистора *T9* получает положительный потенциал. Если же на колебательный контур *2* поступает его резонансная частота, то напряжение падает на резисторе *R14*. Падение напряжения за счет резистора *R16* делает потенциал базы транзистора *T9* отрицательным.

Таким образом, напряжение базы изменяется в зависимости от величины низкой частоты, поступающей с выхода приемника, по характеристике, показанной на рис. 31, *б*, т. е. величина напряжения базы транзистора *T7* представляет собой заданную величину $X_к$, фактическое значение которой дает потенциометр *R19*. Это фактическое значение сравнивается с заданным транзистором *T9* значением $X_к$. Если по своему воздействию оба значения равны и противоположны, то они взаимоуничтожаются. Если же база транзистора *T9* за счет изменения $X_к$ будет иметь более высокий положительный потенциал, то *T9* заблокируется. Тогда мостовая схема, образованная транзисторами *T11, T12*, обеими цепями питания и серводвигателем, выйдет из равновесия, т. е. транзистор *T10* также закроется и транзистор *T12* будет блокирован, а транзистор *T11* открыт На серводвигатель поступает напряжение, приводящее его во вращение до тех пор (одновременно через редуктор смещая ползунок потенциометра *R19*), пока мост снова будет уравновешен.

Такой же процесс регулирования происходит в обратном направлении, если $X_к$ отрицателен. В состоянии равновесия транзисторы *T11* и *T12* заперты. С помощью резистора *R20* устанавливают нулевое положение сервомеханизма. Терморезистор *T17* предназначен для компенсации температурного дрейфа сервоусилителя. Демпфирование процесса регулирования в этой очень простой схеме не предусмотрено.

Аналоговое управление было заменено цифровым по техническим причинам. Оно используется только в специальных случаях. Аналоговые системы при использовании в аппарате дистанционного управления обеспечивают относительно высокую помехоустойчивость и позволяют одноканальную аппаратуру выполнять очень малогабаритной, как, например, аппаратура *Picoprop*. Недостатком аналоговой аппаратуры дистанционного управления является снижение ее чувствительности под воздействием колебаний температуры, напряжения питания и напряженности поля. Сложность такой аппаратуры быстро возрастает при необходимости передавать одновременно несколько команд, поэтому для рассматриваемых целей более приемлемой является цифровая аппаратура.

3.3. Цифровое кодирование

В процессе дальнейшего развития аппаратуры дистанционного пропорционального управления, в которой использовано

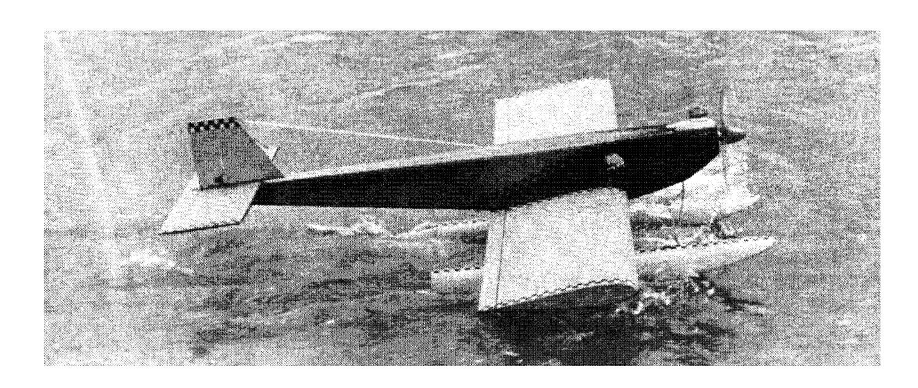


Рис. 32
Модель гидросамолета

низкочастотное кодирование, выявилась большая сложность ее схем, обеспечивающих передачу одновременно нескольких команд. Усилия моделистов были направлены поэтому на поиск более простых и надежных решений. Побуждающим импульсом послужил прогресс в развитии электронных систем обработки данных.

Принцип работы этих систем можно перенести в модельную аппаратуру и использовать преимущества специально разработанных схемных элементов. При сравнительно малом количестве схемных элементов современная аппаратура дистанционного управления достигла такого уровня, который позволяет с одним передатчиком одновременно передавать на модель до восьми команд. Во всем диапазоне регулирования исполнительные механизмы обеспечивают точность отработки и повторяемости команд более 1% при времени исполнения 0,4 с. В зависимости от варианта исполнительного механизма усилие перекладки составляет от 13 до 16 Н, а для парусных лебедок — до 60 Н при времени работы до 6 с и длине выбранного шкота 20 см. С помощью одного комплекта такой аппаратуры можно управлять на расстоянии любой моделью при ее маневрировании, добиваясь, чтобы она выполняла его подобно прототипу (рис 32).

Цифровая аппаратура дистанционного пропорционального управления в последние годы все более совершенствуется. При этом всюду принята одна система кодирования Стандартная система используется в аппаратуре дистанционного управления, производимой в ГДР, США, Великобритании, ФРГ, Франции, Японии. При реализации этой системы импульсный блок в передатчике генерирует последовательность коротких импульсов манипуляции. Длительность импульса составляет, в зависимости от аппаратуры, от 0,2 до 0,4 мс (рис. 33) Информация о пропорциональных командах содержится в различных по времени паузах между импульсами манипуляции, разница

Таблица 7

Данные об импульсах, генерируемых в некоторых образцах аппаратуры дистанционного управления моделями

	Variop-rop S	*Multiplex*	*Simprop Start dp*	*Rowan*	*Microprop*	*Superprop*
Длительность последовательности импульсов, мс	19,5	18	20	17	20	20
Пауза между импульсами, мс	1,6±0,65	1,6±0,5	1,7±0,5	1,6±0,4	1,8±1	1,5±0,5
Полярность импульсов	Отриц.	Полож	Полож.	Полож.	Полож.	Полож.

между которыми в большинстве случаев составляет ± 0,6 мс.

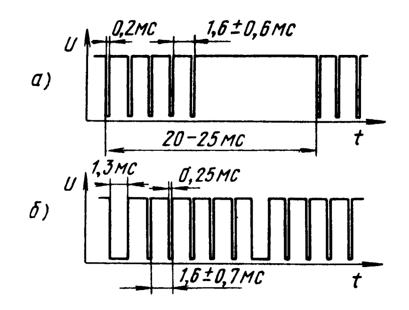
Данные об импульсах, генерируемых в некоторых образцах аппаратуры дистанционного управления моделями, приведены в табл. 7.

Таким образом, пауза между двумя импульсами манипуляции соответствует одному канальному импульсу. Средняя длина канального импульса (для нейтрального положения) для различных образцов аппаратуры равна от 1,5 до 1,8 мс. Из серии канальных импульсов, образованных посредством преобразования коротких импульсов манипуляции, в передатчике формируются следующие друг за другом последовательности импульсов, которые вместе с одной удлиненной паузой между ними излучаются в виде сигналов в пространство.

С помощью удлиненной паузы между импульсами осуществляется синхронизация работы импульсных блоков передатчика и приемника. Так как синхронизирующая пауза всегда образуется как разность между длительностью такта и длительностью последовательности импульсов, она может быть больше или меньше в зависимости от положения ручки управления на передатчике. Но при разработке импульсного блока передатчика необходимо учитывать, что для обеспечения надежной синхронизации между передатчиком и приемником даже са-

Рис. 33

Последовательности импульсов в цифровых передатчиках: *а* — последовательность импульсов стандартной системы; *б* — последовательность импульсов системы *Varioprop*



мая короткая синхронизирующая пауза не должна быть менее 6 мс. Только в аппаратуре *Varioprop* для синхронизации использован удлиненный импульс манипуляции, равный 1,3 мс (см. рис. 33, *б*), для чего потребовались некоторые изменения в импульсных блоках передатчика и приемника по сравнению с другими образцами аппаратуры дистанционного управления.

3.3.1. Импульсный блок передатчика

В импульсном передатчике команда управления, пропорциональная углу отклонения ручки управления, преобразуется в электрический сигнал, закодированный в форме длины импульса. Схема содержит следующие функциональные группы (рис. 34):

генератор тактовых импульсов (автоколебательный мультивибратор);

четыре триггерных каскада (в зависимости от типа передатчика их может быть от двух до восьми);

формирователь импульсов (моностабильный мультивибратор);

стабилизатор напряжения.

Принцип действия такого импульсного блока можно пояснить на примере схемы, разработанной для четырехканального передатчика (рис. 35). Автоколебательный мультивибратор, собранный на транзисторах *T1* и *T2*, работает в качестве генератора тактовых импульсов. Время такта составляет:

$$T = 1{,}4 \cdot R_B \cdot C = 1{,}4 \cdot 130 \text{ кОм} \times 0{,}10 \text{ мкФ} \approx 20 \text{ мс} \qquad (14)$$

и является временем посылки импульсного сигнала (рис. 36, контрольная точка *MP1*). Выключающий фронт тактового импульса дифференцируется *RC*-цепочкой *R5, C5* и через буферный диод *D1* подается на общий провод в виде первого остроконечного импульса (рис. 37, точка *MP11*). В нормальном состоянии транзисторы *T3—T6* открыты. Коллекторы, следовательно, имеют низкий потенциал.

Если теперь транзистор *T2* генератора тактовых импульсов перейдет из закрытого в открытое состояние, то конденсатор *C6* перезарядится при скачке напряжения. Вследствие этого транзистор

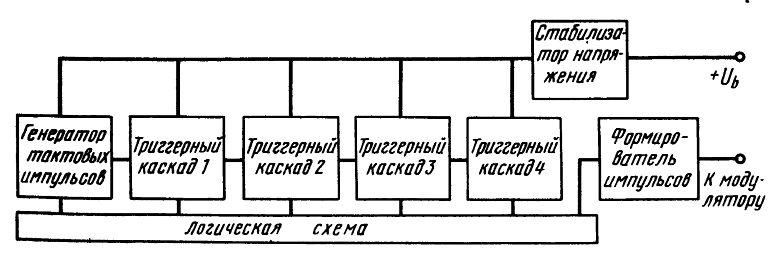


Рис. 34
Блок-схема импульсного блока четырехканального цифрового передатчика

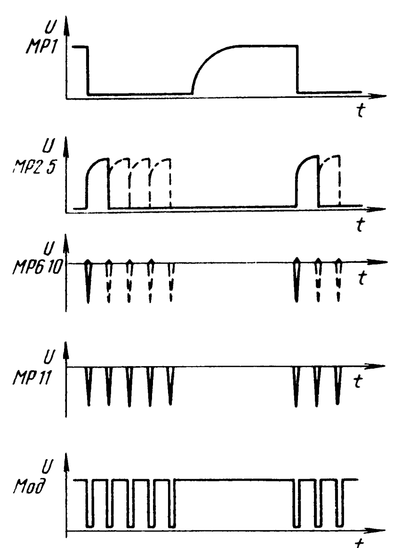
Рис. 35
Импульсный блок (кодирующее устройство) четырехканального передатчика аппаратуры пропорционального дистанционного управления (любительская конструкция). Диоды $D1$-$D5$ типа SAY 30, транзисторы $T1$-$T8$ типа SF 136

Т3 заблокирует первый каскад усиления (в дальнейшем называемый триггерным каскадом), и теперь уже база будет иметь низкий потенциал *С6* начинает разряжаться через резисторы *R6* и *R7*, благодаря чему через период, равный постоянной времени

$$T = 0{,}7 \cdot (R6 + R7) \cdot C6, \qquad (15)$$

транзистор *Т3* снова открывается. Скачок от высокого напряжения к низкому на коллекторе транзистора *Т3* переводит следующий триггерный каскад в запертое состояние. Такой процесс, как и для транзистора *Т3*, повторяется для *Т4*, а затем последовательно для транзисторов *Т5* и *Т6*. Одновременно на транзисторе

Рис. 36
Импульсные диаграммы, снятые в контрольных точках импульсного блока, представленного на рис 35



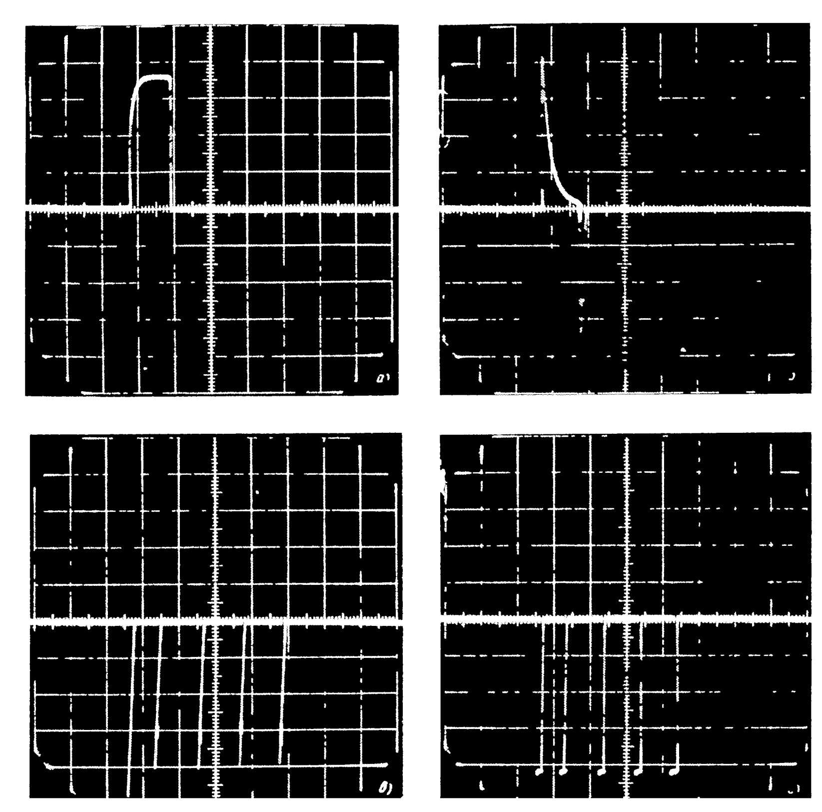


Рис. 37
Осциллограммы, снятые в контрольных точках импульсного блока, представленного на рис. 35: *а* — импульс триггерного каскада, точка *МР2*; *б* — продифференцированный импульс триггерного каскада, точка *МР7*; *в* — последовательность остроконечных импульсов, точка *МР11*; *г* — последовательность импульсов модуляции, точка *МР12*

Т3 выключающий фронт импульса с помощью *С8* и *R9* преобразуется в остроконечный импульс и через буферный диод подается на общий провод (точка *МР11*).

Следующие факторы определяют время опрокидывания транзистора *Т3:*

емкость переходного конденсатора *С6*, так как она определяет —согласно уравнению (15) — постоянную времени процесса перезаряда;

сопротивления резисторов *R6* и *R7*, которые также (согласно тому же уравнению) оказывают влияние на процесс разряда;

величина скачка напряжения при перезаряде конденсатора *С6*, так как напряжение определяет величину заряда *С6*.

Емкость конденсатора *С6* неизменна, но с помощью потенциометра *R6* можно изменять время его разряда Эту возможность используют для регулирования изменяемой ши-

рины канального импульса в пределах ± 0,6 мс. Основное время первого канального импульса, составляющее 1,6 мс, задают установкой ползунка канального потенциометра *R4* в среднее, или нейтральное, положение. Поскольку скачок напряжения для опрокидывания транзистора *T3*, который снимается канальным потенциометром, можно получать различной величины, то эту возможность используют для изменения длительности канальных импульсов в пределах ± 0,6 мс. Ось потенциометра *R4* непосредственно связана с ручкой управления первого пропорционального канала. Таким образом, в изменении длительности канальных импульсов содержится информация о пропорциональном сигнале (или информация о команде) соответствующего канала.

На примере первого триггерного каскада можно пояснить процессы переключений, происходящие затем последовательно и в следующих каскадах, собранных на транзисторах *T4*, *T5* и *T6*. Образующиеся при этом остроконечные импульсы через соответствующие буферные диоды поступают на общий провод (точка *MP11*) и образуют посылку, в течение всех 20 мс повторяемую передатчиком. Расстояния между этими импульсами содержат пропорциональную информацию для всех четырех каналов.

Импульсный блок можно переделать для передачи команд только по двум каналам. Для этого на плате передатчика не устанавливают транзисторы *T4* и *T5* второго и третьего каскадов и соответствующие схемные элементы. Конденсатор *C15* подключен к ползунку канального потенциометра *R8*. Благодаря этому остроконечные импульсы этих каскадов выпадают, и на общий провод (точка *MP11*) поступают только три таких импульса. Подобным же образом импульсный блок можно расширить для передачи команд по семи каналам. Изменением сопротивлений резисторов *R2* и *R3* (160 кОм) основное время доводят до 25 мс, а между ползунком потенциометра *R16* и конденсатором *C15* вводят еще три триггерные схемы.

Транзисторы *T7* и *T8* образуют моностабильный мультивибратор. Время его переключения $T = 0{,}7 \times R23 \times C20 = 0{,}7 \cdot 33$ кОм $\cdot$ 10 тыс. пФ $= 0{,}23$ мс выбрано таким образом, что из остроконечных импульсов мультивибратор формирует точные прямоугольные импульсы. За счет этого время последовательности импульсов не меняется. С помощью таких прямоугольных импульсов можно надежно переключать модулятор высокочастотного блока, т. е. производить манипуляцию несущей частоты в такт с последовательностью импульсов.

Конденсаторы емкостью 1 тыс. пФ, установленные между массой и базами транзисторов *T1*—*T8*, предназначены для предотвращения паразитных связей по высокой частоте со стороны высокочастотного блока и возникновения импульсов

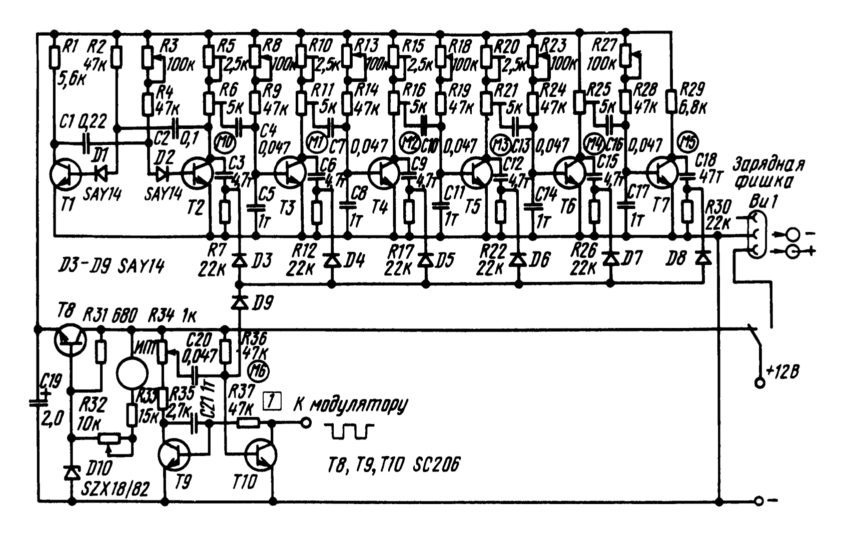


Рис. 38
Импульсный блок аппаратуры *Start dp 5* Транзисторы *T1-T7* типа *SC 206*

помех. Чтобы установленная длительность импульсов не изменялась при разрядке батареи, напряжение питания триггерных каскадов стабилизировано диодом *D6*

Примерно так же, как и импульсный блок самодельного передатчика, показанный на рис. 35, выполнен импульсный блок передатчика аппаратуры *Start dp 5* (рис. 38). Номиналы схемных элементов генератора тактовых импульсов, триггерных каскадов и формирователя импульсов обоих блоков мало отличаются друг от друга Для подачи команд по отдельным каналам и подстройки предусмотрены отдельные потенциометры (5 кОм и 2,5 кОм) Преимущество этого — более простая конструкция ручек управления, недостаток — нелинейность подстройки и отклонения ручки

Формирователь импульсов, собранный на транзисторах *T9* и *T10*, также представляет собой моностабильный мультивибратор, время такта которого можно регулировать с помощью потенциометра *R34*. Напряжение питания для импульсного блока передатчика стабилизировано с помощью стабилитрона *D10*, резистора *R31* и транзистора *T8*. Импульсы аппаратуры *Start dp* имеют длительность 1,7± ±0,5 мс.

Импульсный блок можно упростить за счет применения интегральных схем. В аппаратуре дистанционного управления *Fajtoprop* (рис. 39), выпускаемой в ЧССР, генератор тактовых импульсов и формирователь импульсов выполнены на интегральных схемах типа *MH 7400* (*MHA 111*). Правда, при таком исполнении импульсного блока передатчика количество схемных элементов и цена аппаратуры становятся не намного мень-

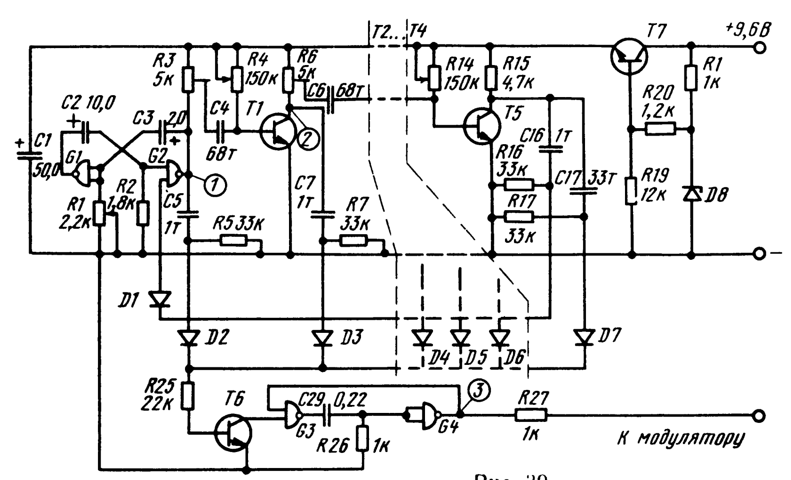
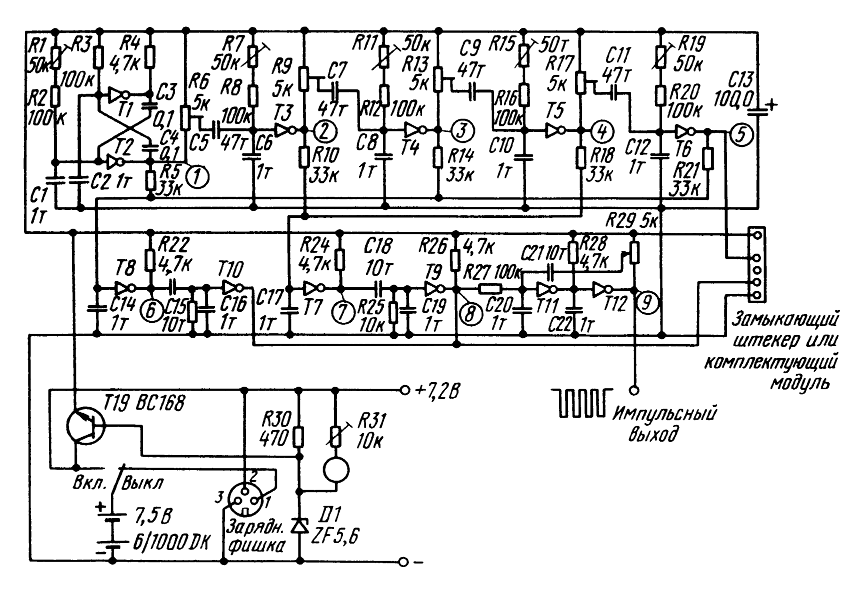


Рис. 39
Импульсный блок передатчика, собранного с использованием интегральной схемы типа *МНА 111* (аппаратура *Fajtoprop*) Транзисторы *T1-T7* типа *КА 501*

Рис. 40
Импульсный блок шестиканального передатчика, собранный на трех схемах типа *МС 9819 Р* В первую схему входят транзисторы *T1-T6*, во вторую — *T7-T12*, в третью -*T13-T18* (передатчик *Multiplex-Royal*)

ше. Высока также потребляемая мощность, составляющая 25 мВт для каждой интегральной схемы, что неблагоприятно сказывается на балансе мощности передатчика.

Примером целесообразного использования интегральных схем является импульсный блок



передатчика для аппаратуры *Multiplex-Royal* (рис. 40). Все функции активных элементов в этом блоке выполняют три интегральные схемы типа *MC 9819 P*, каждая из которых включает шесть транзисторов. Первые два транзистора *T1* и *T2* и здесь образуют генератор тактовых импульсов, основное время которого с помощью потенциометра *R1* устанавливается равным 18 мс. Этот генератор, как и в схеме, показанной на рис. 35, включен перед шестью триггерными каскадами. Время опрокидывания отдельных каскадов также соответствует длительности импульсов соответствующих каналов.

В импульсных блоках, полностью собранных на интегральных схемах, в отличие от блоков, собранных на транзисторах, последовательности импульсов имеют другую форму Импульсы, генерируемые транзисторами *T2*, *T4* и *T6*, поступают на транзистор *T8*, меняют знак и дифференцируются цепочкой *C15*, *R23* (рис. 41). Через транзистор *T10* остроконечные импульсы подаются на общий провод. Аналогично работают транзисторы *T7*, *T9*, *T16*, *T18* и *T15*, *T17*. Через резистор *R27* последовательности импульсов управляют работой формирователя импульсов, собранного на транзисторах *T11* и *T12*, длительность посылок импульсов которого регулируется потенциометром *R29*. Поступающие на коллектор транзистора *T12* последовательности семи импульсов манипуляции управляют затем транзистором, на котором собран модулятор высокочастотного блока (см рис. 113). Такая форма последовательностей импульсов обеспечивает более высокую функциональную надежность. Точная работа триггерных каскадов будет обеспечена более надежно, если их электрически разделить с помощью транзисторных, а не диодных интегральных схем.

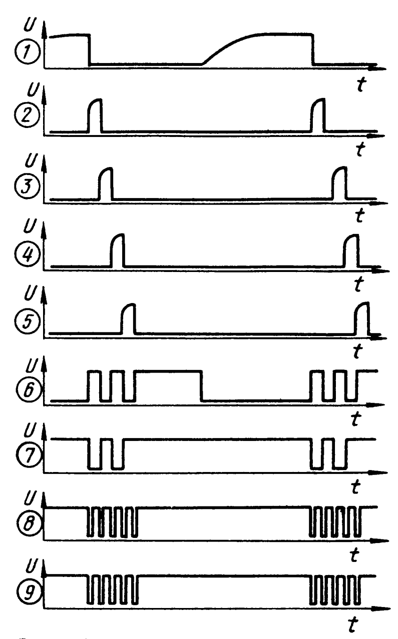


Рис. 41
Осциллограммы импульсного передатчика, представленного на рис *40*, в режиме передачи по четырем каналам

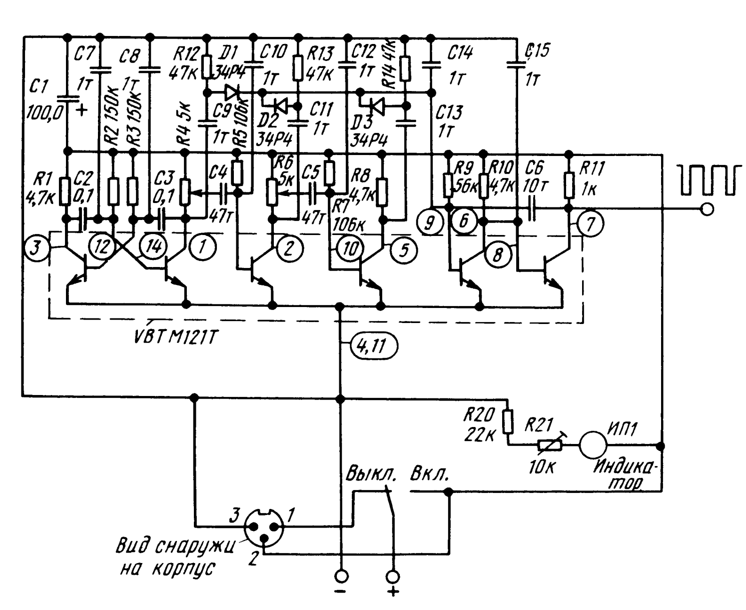
Большое усиление каждой интегральной схемы обусловливает повышенную склонность импульсного блока к самовозбуждению. Чтобы предотвратить возникновение колебаний под влиянием высоко-

частотного блока передатчика, размещенного на той же плате, базы всех транзисторов соединены с массой через конденсаторы емкостью 1 тыс. пФ. Длительности импульсов сильно зависят от величины напряжения питания. Поэтому для предотвращения отрицательных явлений, связанных с уменьшением напряжения, напряжение стабилизировано с помощью транзистора *T19*, резистора *R30* и стабилитрона *D1*.

Стабилитрон использован также для расширения диапазона измерения индикатора Этот стабилитрон блокирует напряжение ниже 5,6 В; диапазон измерения при этом составляет от 5,6 до 7,5 В, т. е. 1,9 В. В данном случае можно с помощью небольшого индикаторного прибора значительно точнее оценивать уровень разряда никелево-кадмиевых аккумуляторов, установленных в передатчике. В то же время использование комплектующих модулей, имеющих штекерные разъемы и собранных с применением интегральных схем (транзисторы *T13—T18*), позволяет передатчик простым способом перевести с четырех- на шестиканальный режим работы.

С помощью только одной интегральной схемы можно получить двухканальный импульсный блок (рис. 42). Передатчики, к которым относятся импульсные блоки, показанные на рис. 40 и 42, оснащены одинаковыми высокочастотными

Рис. 42
Импульсный блок двухканального передатчика аппаратуры пропорционального дистанционного управления *Multiplex-Mini 2* Питание обеспечивается шестью никелево-кадмиевыми аккумуляторами или шестью гальваническими элементами батареи (6- 9 В)



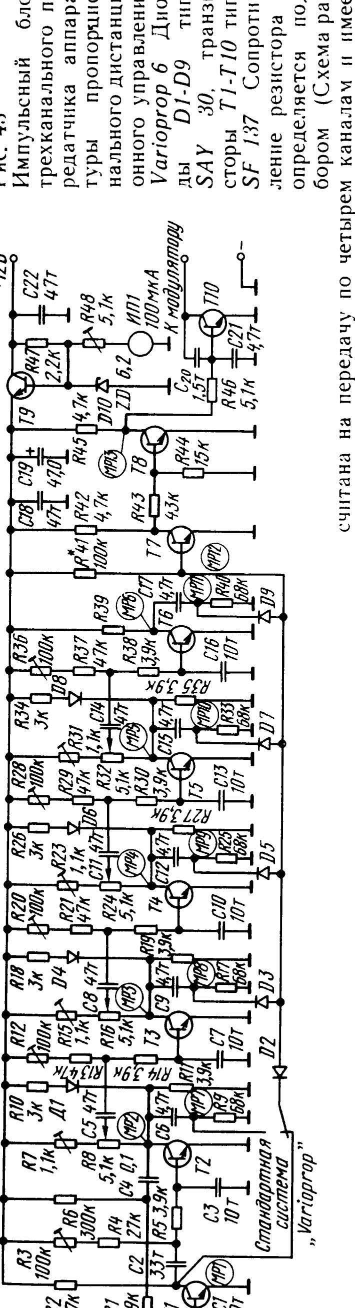
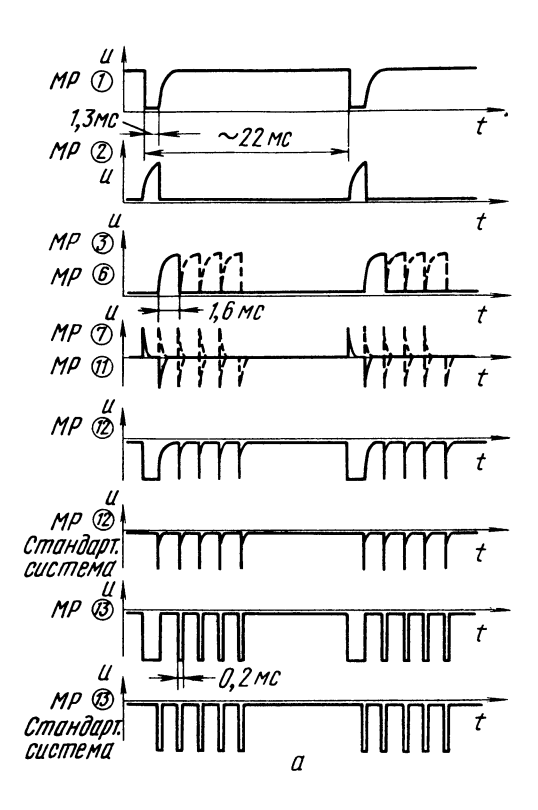


Рис. 43
Импульсный блок трехканального передатчика аппаратуры пропорционального дистанционного управления *Varioprop 6* Диоды *D1-D9* типа *SAY 30*, транзисторы *T1-T10* типа *SF 137* Сопротивление резистора *R* определяется подбором (Схема рассчитана на передачу по четырем каналам и имеет возможность переключения на два метода модуляции)

блоками. Они взаимозаменяемы, поскольку работают с импульсами одинаковой длительности.

Некоторые элементы блока трехканального передатчика *Varioprop* (рис 43) изменены по сравнению с оригиналом, чтобы можно было использовать транзисторы типа *SF136*. Одновременно схема приемника расширена для четырехканальной работы. Импульсный блок трехканального передатчика *Varioprop* выполнен на обычных схемных элементах. Если импульсный блок, представленный на рис. 43, сравнить с другими импульсными блоками, то разница на первый взгляд не заметна. В качестве генератора тактовых импульсов в нем также использован автоколебательный мультивибратор, последовательно с которым установлены три триггерных каскада и формирователь импульсов, который, однако, в виде перегруженного усилителя работает как триггер, а не как моностабильный мультивибратор. Автоколебательный мультивибратор на транзисторах *T1* и *T2* выполнен ассиметричным. Транзистор *T1* с помощью потенциометра *R3* может быть точно отрегулирован на длительность переключения $t_{i1} = 1{,}3$ мс, а транзистор *T2* — $t_{i2} \approx 21$ мс.

Время переключения транзистора *T1* ($t_{i1} = 1{,}3$ мс) через диод *D2* подается на общий провод в виде синхронизирующего импульса Тогда транзистор *T2* начинает уже описанный процесс включения,



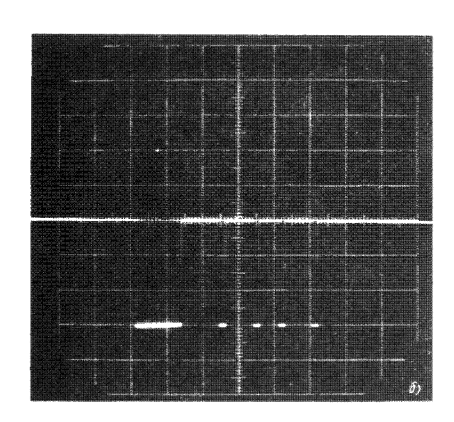


Рис. 44
Осциллограммы импульсного блока, представленного на рис. 43 *а* импульсные диаграммы, *б* осциллограмма последовательности импульсов модуляции

причем три следующих канальных импульса, занимающие максимум $t_{i4}=4\cdot 2{,}3$ мс $=9{,}2$ мс, укладываются в период манипулирования $t_{i2}\approx 21$ мс. Канальные импульсы снова дифференцируются *RC*-цепочками *C9-R17*, *C12-R25*, *C15-R33* и *C17-R40*, отрицательные остроконечные импульсы разделяются диодами *D2*, *D3*, *D5*, *D7* и *D9* и подаются на общий провод. Комбинации резисторов в коллекторных цепях транзисторов, установленных в триггерных каскадах, предназначены для предотвращения обратных связей между канальными каска-

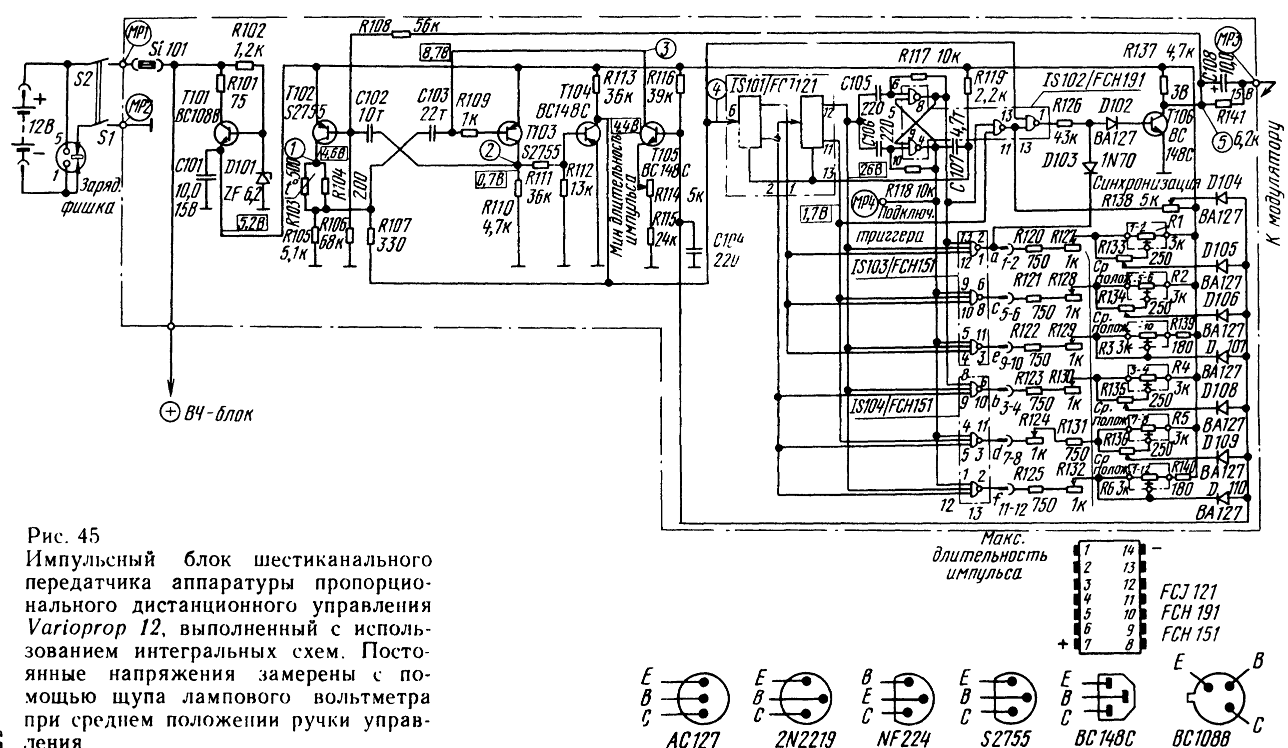


Рис. 45
Импульсный блок шестиканального передатчика аппаратуры пропорционального дистанционного управления *Varioprop 12*, выполненный с использованием интегральных схем. Постоянные напряжения замерены с помощью щупа лампового вольтметра при среднем положении ручки управления

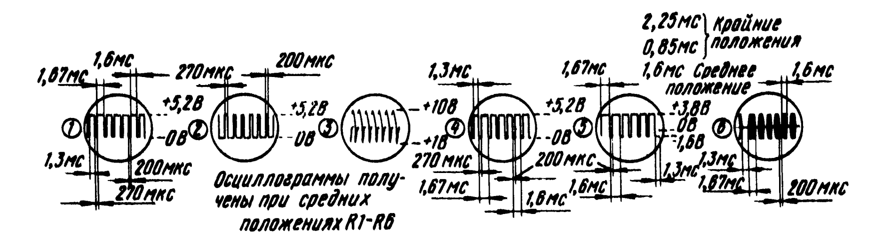
дами. Затем триггер прибавляет 1,3 мс к длительности импульса паузы транзистора *T1*, а также последующие остроконечные импульсы и формирует их в одну последовательность импульсов, манипулирующую модулятором *RC*-цепочка *R46*, *C20* сглаживает фронты импульсов и тем самым уменьшает полосу пропускания передатчика. Напряжение питания импульсного блока стабилизировано с помощью стабилитрона *D10* и транзистора *T9*.

Импульсная диаграмма (рис. 44) наглядно поясняет работу этого импульсного блока. С использованием схемы, показанной на рис. 43, можно изготовить универсальный импульсный блок, переключаемый на обе системы синхронизации. Для этого необходимо лишь создать возможность переключения диода *D2* с точки *MP1* к точке *MP7* и наоборот. Следует также согласовать длительности импульсов обоих блоков.

Импульсный блок передатчика *Varioprop 12* частично выполнен на интегральных схемах и собран на одной плате, отдельно от высокочастотного блока (рис 45). Соединения с канальными потенциометрами имеют штекерную конструкцию, поэтому можно свободно комбинировать подключение ручек управления и канальных триггерных каскадов, а значит, простым способом и быстро изменять соответствие команд управления моделью и ручек управления.

Импульсный блок выполнен в виде счетчика с кольцевой схемой. В качестве генератора тактовых импульсов для него работают транзисторы *T102*, *T103* и *T104* (рис. 46). Канальные триггерные каскады собраны в виде логических схем *НЕ-И*, входы которых связаны друг с другом с помощью интегральных схем *IS101* и *IS102*. Длительность импульсов манипуляции регулируется потенциометром *R114*, а длительность импульсов синхронизации, представляющих собой импульсы манипуляции, расширенные до 1,3 мс,— потенциометром *R138*. *RC*-цепочка *R141*, *C108* предназначена для сглаживания фронтов импульсов, за счет чего можно уменьшить полосу пропускания передатчика. Напряжение питания стабилизировано транзистором *T101* и стабилитроном *D101*.

Рис. 46
Осциллограммы импульсного блока, представленного на рис. 45



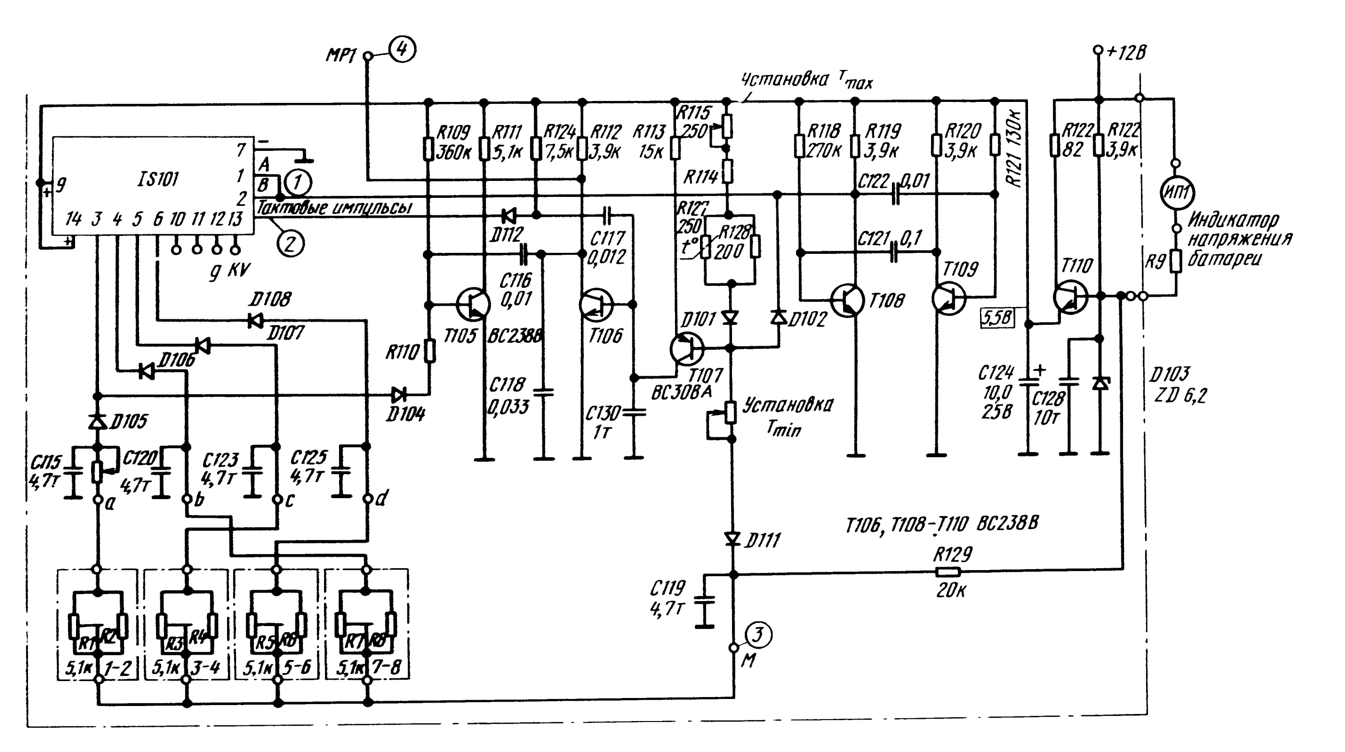


Рис. 47
Импульсный блок четырехканального передатчика аппаратуры пропорционального дистанционного управления *Varioprop 8S*. При использовании интегральной схемы *IS101* типа *6ZF 1100* резисторы *R114* и *R110* имеют сопротивления 160 Ом и 68 кОм, при использовании *IS101* типа *SN 74 L 164 N* — 200 Ом и 51 кОм и при использовании *IS101* типа *MM74C164N* — 160 Ом и 68 кОм. Сопротивления резисторов *R2*, *R4*, *R6* и *R8* определяются подбором. Резистор *R9* предназначен для установки диапазона измерения индикатора напряжения

Следующим шагом ко все более широкому применению интегральных схем было использование в передатчике *Varioprop* регистра сдвига, выполненного в виде интегральной схемы (рис. 47). Речь идет о регистре сдвига с параллельным выходом, собранным на маломощных транзисторах. По сравнению с транзисторными триггерными каскадами этот регистр сдвига потребляет меньшую мощность и потому приводит к более благоприятному энергетическому балансу передатчика и оптимальному использованию емкости батареи. Напряжение питания импульсного блока стабилизировано стабилитроном *D103* и транзистором *T110*.

Транзисторы *T108* и *T109* образуют автоколебательный мультивибратор, работающий в качестве генератора тактовых импульсов. При длительностях импульсов $t_1 = 130$ кОм · 10 тыс. пФ · 0,69 ≈ 0,9 мс и $t_2 =$ 270 кОм · 0,1 мкФ · 0,69 ≈ 18,6 мс время такта для повторений последовательностей импульсов составляет $t_K = t_1 + t_2 \approx$ ≈ 19,5 мс. Импульс длительностью t_1, снимаемый с коллектора транзистора *T108*, образует входной импульс для регистра сдвига *1* и через диод *Д102* запускает второй мультивибратор, собранный на транзисторах *T105* и *T106*, открывая транзистор *T107* и благодаря этому подавая напряжение на базу транзистора *T106* (рис.48). Через 1,3 мс транзистор *T106*, возвращается в запертое состояние и за счет этого вырабатывает синхронизирующий импульс.

С помощью опрокидывания мультивибратора, собранного на транзисторах *T105* и *T106*, одновременно генерируются тактовые импульсы для регистра сдвига. Пауза между ними зависит от напряжений на резисторах *R1*—*R7*. Длительности импульсов манипуляции $T_{min} = 0{,}85$ мс и $T_{max} = 2{,}23$ мс, которые одновременно определяют максимальную ширину канального импульса, устанавливают потенциометрами

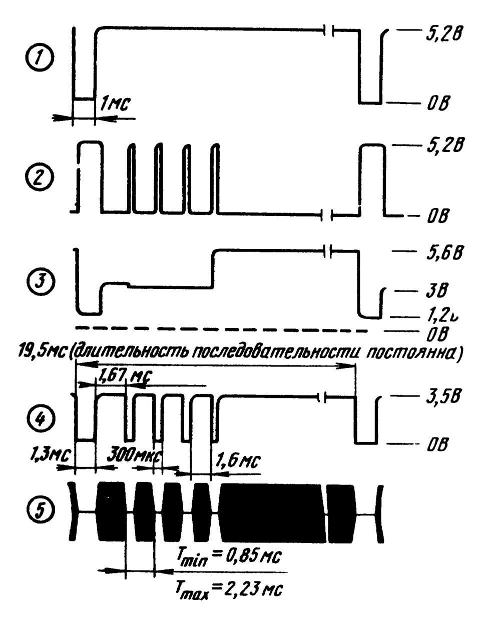


Рис. 48
Осциллограммы импульсного блока, представленного на рис 47. Диаграммы сняты при средних положениях потенциометров *R1*, *R3*, *R5* и *R7*

R115 и *R117*. Средняя длительность канального импульса, равная 1,6 мс, устанавливается выбором соответствующих резисторов *R2, R4, R6* и *R8*, шунтирующих канальные потенциометры.

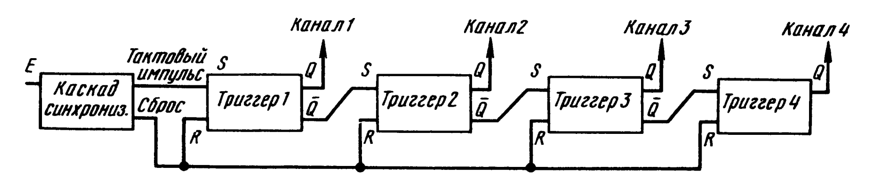
Если после прохождения последовательности импульсов на выходы регистра сдвига импульсы больше не поступают, то транзистор *T107* запирается, а автоколебательный мультивибратор, собранный на транзисторах *T105* и *T106*, запускается сразу же при поступлении нового импульса, поданного генератором тактовых импульсов (собранным на транзисторах *T108* и *T109*). Полная последовательность импульсов манипуляции поступает в точку *MP1* (диаграмма *4* на рис. 48) и подается на транзистор модулятора.

3.3.2. Импульсный блок приемника

Количество импульсов манипуляции зависит от числа каналов передатчика. Четырехканальный передатчик излучает пять, а шестиканальный—семь импульсов манипуляции длительностью 0,2 мс. Информация о пропорциональных командах содержится в изменяющейся длительности пауз (1,6±±0,6 мс) между этими импульсами (см. рис. 33). Задача декодирующего устройства приемника — выделить канальные импульсы (1,6±0,6 мс) из последовательности импульсов и правильно подать их на канальные выходы. С помощью соответствующих устройств производится подсчет канальных импульсов. При этом первый канальный импульс, заключенный между импульсами манипуляции *1* и *2*, соответствует каналу *1*, второй импульс, заключенный между импульсами манипуляции *2* и *3*, соответствует каналу *2* и т. д.

Для подсчета импульсов используют счетчики импульсов (рис. 49). Каждый поступающий импульс манипуляции изменяет состояние счетчика, которое сохраняется до прихода следующего импульса. Поэтому счетчик должен содержать элемент памяти, имеющий два устойчивых положения переключения. Это может быть мультивибратор с двумя устойчивыми состояниями (называемый в дальнейшем триггером) или элемент переключения с аналоговыми характеристиками. Счетчики импульсов работают по определенному циклу. После прохождения последова-

Рис. 49
Блок-схема четырехканального импульсного блока приемника



тельности импульсов манипуляции счетчик возвращается импульсом синхронизации в свое исходное положение. Благодаря этому осуществляется синхронизация работы импульсных блоков передатчика и приемника, что необходимо для надежной работы цифровой аппаратуры дистанционного управления.

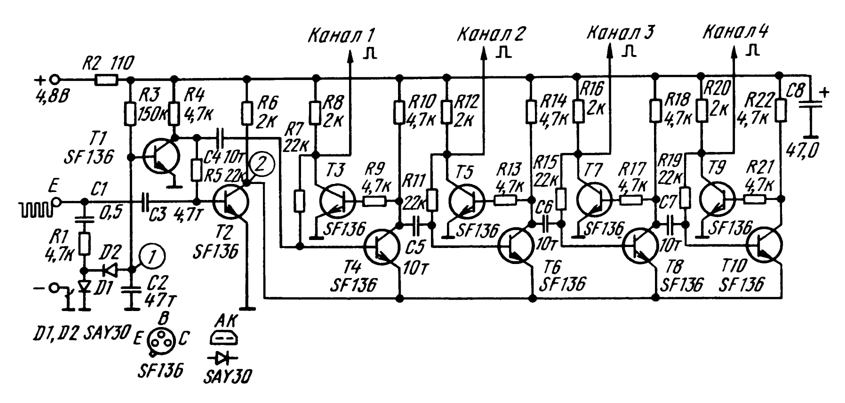
Синхронизация уменьшает также воздействие импульсов помех. Если импульсы помех нарушат нормальную работу счетчика, то после прохождения любой последовательности импульсов счетчик вновь возвращается в исходное положение синхронизирующим импульсом. Счетчик, имеющий такие характеристики, называется **регистром сдвига**.

Регистр сдвига может быть собран на дискретных схемных элементах (транзисторах) или на интегральных схемах. По выполнению своих функций оба варианта исполнения равноценны. Но будущее — за интегральными схемами, так как собранные на них импульсные блоки приемника обладают максимальными простотой и эксплуатационной надежностью.

Принцип работы четырехканального декодирующего устройства можно рассмотреть на примере импульсного блока аппаратуры дистанционного управления *Digitron* (рис. 50), собранного на дискретных схемных элементах. Важным отличием этого блока является то, что эмиттеры обоих транзисторов, образующих триггерный каскад, не соединены друг с другом. Более того, эмиттеры всех «левых» и эмиттеры всех «правых» транзисторов соединены общими проводниками.

Каскад находится в состоянии *H*, если открыт «правый» транзистор, или в состоянии *L*, если открыт «левый» транзистор триггерного каскада. При этом состояние *H* означает высокий (от английского *hight*), а *L* — низкий (от английского *low*) потенциал рассматриваемой точки. Так как из *n* каскадов один находится в состоянии *H*, а *n*—1 — в состоянии *L*,

Рис. 50
Четырехканальный импульсный блок приемника с дискретными триггерами (аппаратура *Multiplex Digitron*)



«правый» транзистор открыт только в одном каскаде, тогда как в других $n-1$ каскадах открыты «левые» транзисторы.

В состоянии покоя эмиттеры всех транзисторов имеют одинаковые потенциалы Делители напряжения в базовых цепях выбраны таким образом, чтобы счетчик мог оставаться только в одном устойчивом состоянии. Как только один из «правых» транзисторов открывается, падение напряжения на транзисторе *T2* возрастает и уменьшает его проводимость. Переключение кольцевого счетчика проявляется в поступлении положительного импульса на общий провод, соединяющий эмиттеры «правых» транзисторов (рис. 51) При этом «левый» транзистор, который до этого момента был открыт, запирается Скачок напряжения, возникающий на его коллекторе при переходе из состояния *L* в состояние *H* через конденсатор емкостью 10 тыс пФ поступает на базу следующего «правого» транзистора, который после спада запирающего импульса благодаря этому открывается на проводник, соединяющий эмиттеры «правых» транзисторов При этом информация «*H*» сдвигается на один каскад.

Импульсы, подаваемые на проводник, соединяющий эмиттеры «правых» транзисторов, должны быть очень короткими, иначе придется увеличивать емкость переходных конденсаторов, в которых во время прохождения импульса хранится информация, отражающая состояние счетчика. Кроме того,

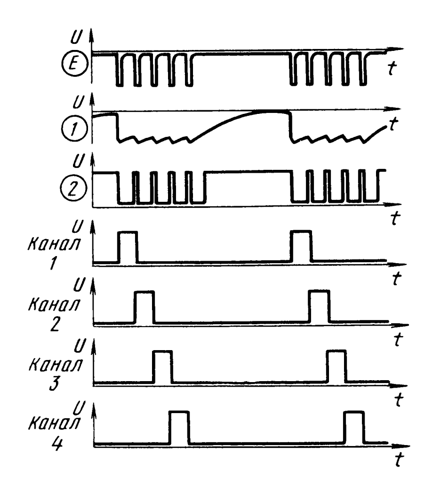


Рис. 51
Импульсные диаграммы импульсного блока, представленного на рис *50*

счетный импульс необходимо подавать на низкоомный вход. Поэтому к проводу, соединяющему эмиттеры «правых» транзисторов, подключен управляющий транзистор, включенный по схеме с общим коллектором Тогда длительность импульса на входе *E* может быть как угодно большой, лишь возрастание фронта сигнала при переходе от сигнала *L* к сигналу *H* (*L*-*H*-фронт) должно быть меньше 2 В/мкс, а амплитуда управляющего импульса должна составлять по крайней мере 2 В. Состояние счетчика может быть оценено по состоянию коллекторов транзисторов. Канальный импульс снимает сигнал с коллекторов «левых» транзисторов каскадов.

До прихода импульсов конденсатор *C2* разряжен, поэтому транзистор *T1* открыт, а транзистор *T2* заперт (рис. 52).

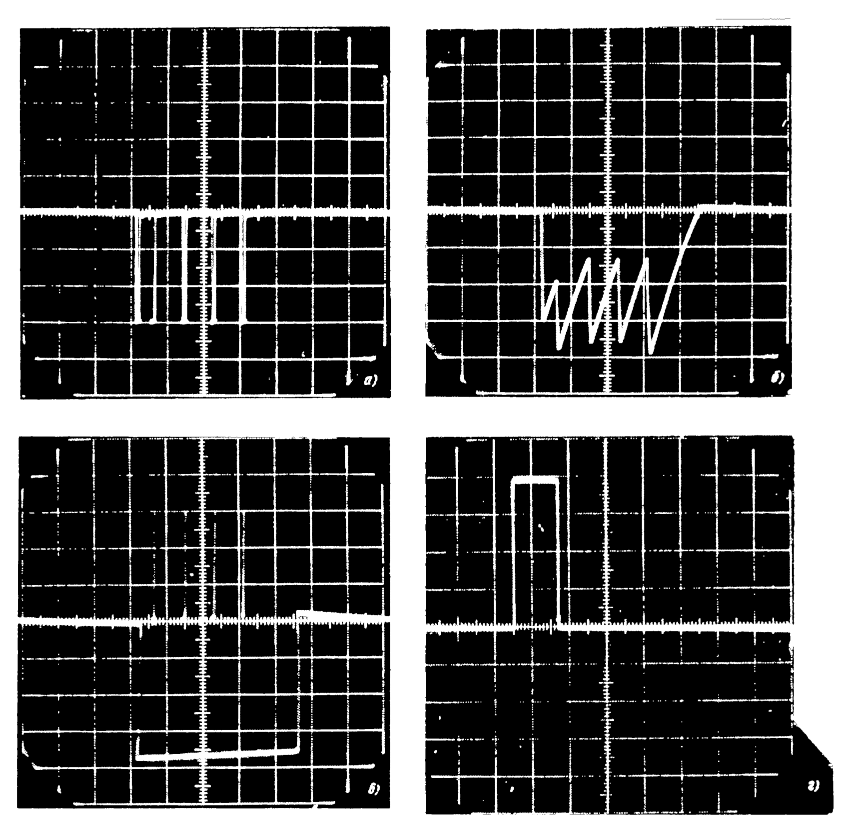
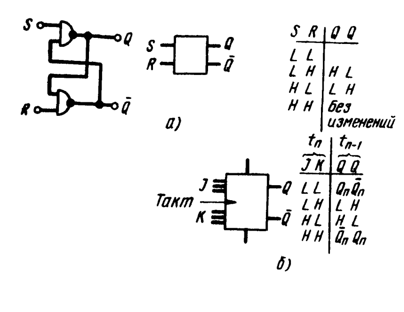


Рис. 52
Осциллограммы, снятые в контрольных точках импульсного блока (рис 50) *а* — последовательность канальных импульсов на входе *E*, *б* — проинтегрированные канальные импульсы для синхронизации, точка *MP1*, *в* — импульсы манипуляции регистра сдвига, точка *MP2*, *г* — канальный импульс на выходе канала *1*

Благодаря этому транзисторы *T4, T6, T8* и *T10* находятся в открытом состоянии, а транзисторы *T3, T5, T7* и *T9* — в закрытом. Первый *H-L*-фронт через цепочку *C1, R1* и диоды *D1, D2* отрицательно заряжает конденсатор *C2*, и транзистор *T1* переходит из открытого в закрытое состояние. Одновременно в транзисторе *T2* через *R5* и *R4* течет ток базы, т е. он может воспринимать сигнал последовательности импульсов. Первый *H-L*-фронт, поступающий на вход *E*, открывает транзистор *T2* и соединяет эмиттеры транзисторов *T4, T6, T8* и *T10* с массой. Благодаря этому все триггеры готовы к счету. При поступлении следующего импульса манипуляции кольцевой счетчик переключается, как было описано выше.

Если проходит последовательность импульсов, то на канальных выходах появляются



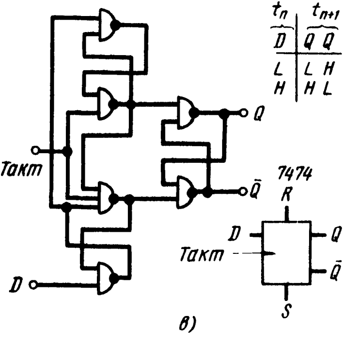


Рис. 53
Триггеры, выполненные в виде интегральных схем, их обозначения на схемах и таблицы состояний при подаче на входы различных комбинаций сигналов: *а* — *RS*-триггер, собранный из двух логических схем *НЕ-И* Одновременная смена потенциалов с *L* на *H* на входах *S* и *R* приводит к неопределенному состоянию и запрещена, *б*—*JK*-триггер (при подаче на вход *R* потенциала *L* выход *Q* получает потенциал *L*. Этот же потенциал получает выход *Q* при подаче сигнала *L* на вход *S*); *в* - *D*-триггер (как и у *JK*-триггера, выходы *Q* и *Q̄* получают потенциал *L* при подаче на вход *R* или *S* такого же потенциала)

разнесенные по времени канальные импульсы *1—4*. После этого регистр сдвига возвращается в исходное положение, при этом он должен быть синхронизирован с передатчиком. Эту задачу выполняют транзисторы *T1* и *T2*. Во время синхронизирующих пауз (превышающих 6 мс) между последовательностями импульсов манипуляции конденсатор *C2* разряжается через резистор *R3*, и транзистор *T1* возвращается в открытое состояние. Вследствие этого транзисторы *T2, T4, T6, T8* и *T10* запираются, а *T3, T5, T7* и *T9* открываются. Таким образом, регистр сдвига снова занимает исходное состояние.

Дальнейшим развитием аппаратуры дистанционного управления моделями стало использование интегральных схем целевого назначения. В принципе любой из триггеров, показанных на рис. 50, можно заменить логической схемой *НЕ-И* и получить схему, представленную на рис. 53, *а* Такой триггер также имеет отрицательные по отношению друг к другу выходы *Q* и *Q̄* и два входа: *S* и *R* (от английских слов *set* — установка и *reset* — сброс). Но на практике такой вариант схемы был бы нерационален, так как здесь интегральная схема заменила бы только транзисторы, однако сохранилась бы необходимость в других дискретных схемных элементах (резисторах и конденсаторах).

Решением в этом случае является применение тактированных (синхронных) триггеров. По своим входам, *J* и *K*, их называют *JK*-триггерами (см. рис. 53, *б*). При этом тактовый импульс поступает на вход *Такт*, а синхронизирующий импульс — на вход *K* или на вход *J*. Но наиболее пригодными для использования в

5 Зак. 718

регистрах сдвига аппаратуры дистанционного управления являются менее чувствительные к помехам D-триггеры. Они работают только как тактированные триггеры, срабатывая при поступлении на вход L-H-фронта тактового импульса (см. рис. 53, *в*). Буква D в их обозначении образована от английского слова *delay* — задержка. Фронт тактового импульса, необходимый для срабатывания D-триггера, должен иметь ширину не менее ≈250 нс при амплитуде от 0,7 до 2,7 В.

Принцип действия регистра сдвига, собранного на четырех D-триггерах, можно пояснить с помощью блок-схемы регистра и его импульсных диаграмм (рис. 54 и 55). При подаче синхронизирующего импульса на вход D первый триггер приходит в состояние готовности к счету, поэтому L-H-фронт первого импульса манипуляции появляется на выходе Q_1. Второй импульс манипуляции переводит выход Q_1 из состояния H в состояние L, т. е. на выходе Q_1 появляется выключающий фронт канального импульса и в то же время включается второй триггер. Одновременно с появлением на выходе H-L-фронта на выходе Q_2 появляется L-H-фронт второго канального импульса. Таким образом, состояние H сдвигается импульсом манипуляции от одного выхода к следующим.

Совершенно безразлично, потерян или появился импульс в результате воздействия помехи, следующая последовательность импульсов манипуляции может только сместить регистр сдвига, если под воздействием синхронизирующего импульса вход D получает положительный потенциал, т. е. будет иметь потенциал H. Благодаря этому результат воздействия помех устраняется не позднее, чем после прохождения одной последовательности импульсов. С выходов Q_1—Q_4 можно снимать канальные им-

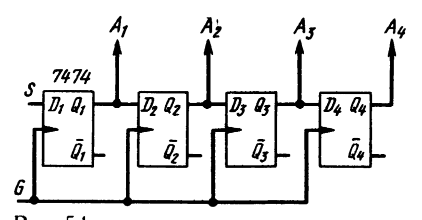


Рис. 54
Блок-схема четырехтактного регистра сдвига

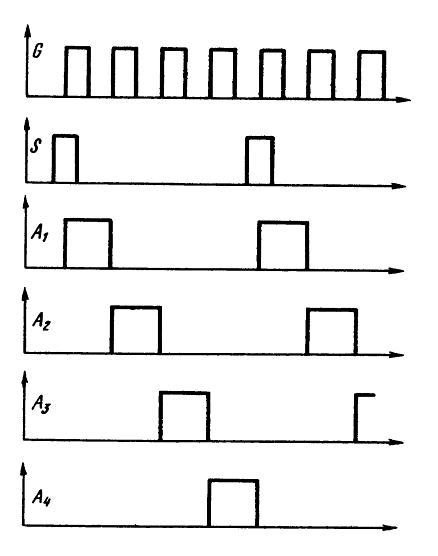


Рис. 55
Импульсные диаграммы регистра сдвига, представленного на рис. 54

пульсы для каналов *1—4*. Преимуществом такого варианта схемы является то, что интегральные схемы делают возможными логические операции с положительными и отрицательными сигналами, так как на выходе $\bar{Q}$ появляется импульс, обратный по отношению к импульсу, появляющемуся на выходе Q.

Регистр сдвига, работающий по описанному выше принципу, используется для цифрового кодирования в аппаратуре дистанционного управления *Faitoprop* (рис. 56). Напряжение промежуточной частоты демодулируется аналоговой интегральной схемой *МАА 325* и усиливается в виде импульсного напряжения. Если на вывод *1* схемы *МАА 325* импульсы не поступают, то транзистор *Т5* заперт и, следовательно, конденсатор *С13* заряжается положительно. За счет этого вход *D* триггера *1* имеет положительный потенциал и триггер готов к счету. *L-H*-фронт первого импульса манипуляции включает триггер *1*, поэтому на выходе Q_1 появляется *H-L*-фронт первого канального импульса. Одновременно импульс манипуляции открывает транзистор *Т5* и через него начинает разряжаться конденсатор *С13*. Благодаря этому вход *D* триггера *1* получает примерно такой же потенциал, как на корпусе, и поэтому *L-H*-фронт второго импульса манипуляции может теперь только выключить этот триггер, но не включить.

В паузах между импульсами манипуляции конденсатор *С13* заряжается положительно до такого уровня, что триггер *1* становится готовым к счету. Это происходит только в течение длинных пауз, превышающих 6 мс, между последовательностями импульсов. Таким образом, триггер *1* снова становится готовым к счету только в результате воздействия синхронизирующей паузы и, следовательно, синхронизирует регистр сдвига. Так как аппаратура *Faitoprop* рассчитана на пять каналов, а каждая из интегральных схем типа *МН 7474* содержит два *D*-триггера, пятый триггерный каскад выполнен на дискретных схемных элементах.

Ток покоя, составляющий 20 мА на одну интегральную схему, отрицательно влияет на баланс энергии аппаратуры дистанционного управления *Faitoprop*. Поэтому различные фирмы, производящие такую аппаратуру, применяют регистры сдвига маломощных серий, правда, более дорогие, но обеспечивающие меньшее потребление тока приемником.

Из представителей аппаратуры такого типа (*Microprop*, *Kraft*, *Digisix*, *Rowan*) следует выбрать схему импульсного блока приемника аппаратуры дистанционного управления *Multiplex-Royal* (рис. 57). Последовательность импульсов манипуляции усиливается и формируется специальной интегральной схемой типа *М 106Т*. *RC*-цепочка, включенная на выходе транзистора в каскаде демодуляции промежуточной частоты, а также усилитель импульсов обеспечива-

Рис. 56
Импульсный блок приемника, собранный с применением двух интегральных схем типа *MJB 111* (*MH 7474*) и содержащий пять *D*-триггеров (аппаратура *Fajtoprop*)

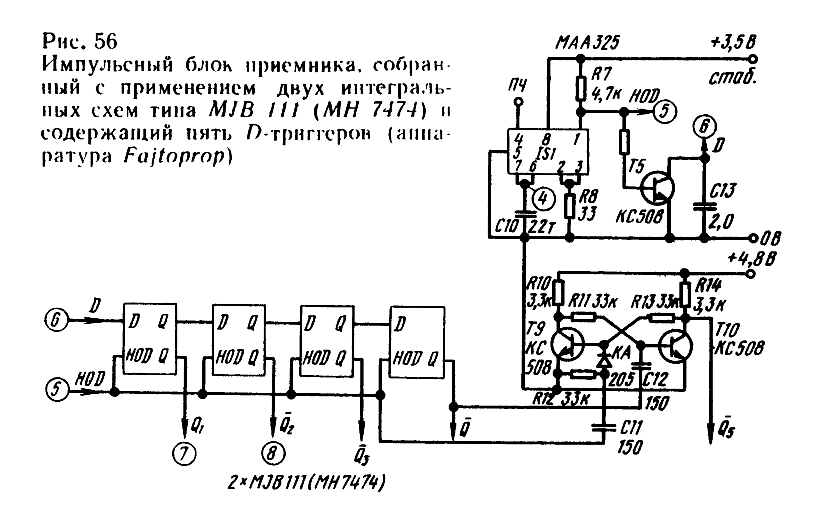


Рис. 57
Шестиканальный импульсный блок приемника, собранный с применением маломощных интегральных схем (аппаратура *Multiplex-Royal*). Сопротивление резистора *R24* определяется подбором

ют эффективное подавление импульсов помех и медленных колебаний напряжения, которые могут привести к ошибочному включению регистра сдвига. Синхронизацию, как описано выше, осуществляет триггерный каскад, собранный на транзисторах *T9* и *T10*.

Шестиступенчатый регистр сдвига, выполненный на интегральных схемах *IS2* и *IS3*, может быть готов к счету только,

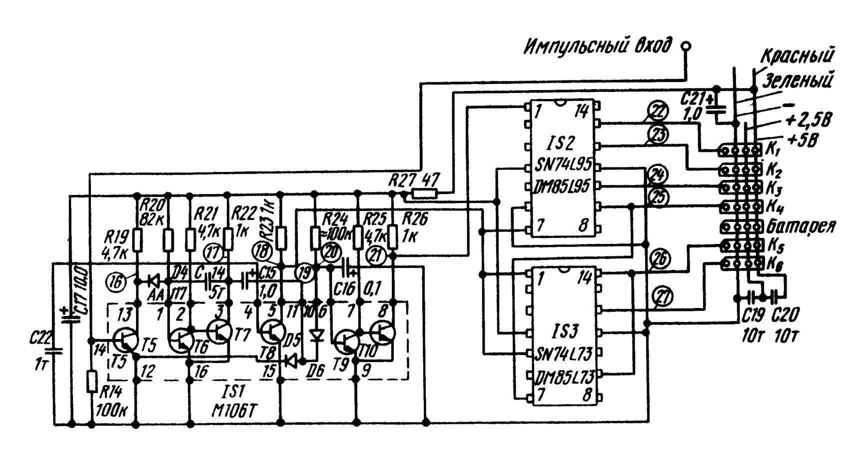
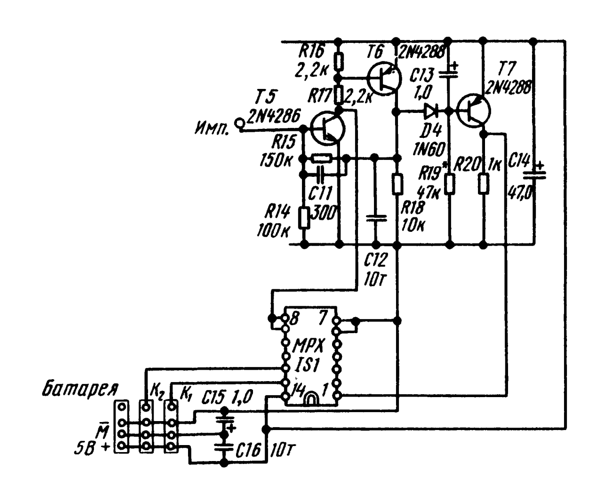


Рис. 58
Двухканальный импульсный блок приемника, собранный с применением интегральной схемы *IS 1* типа *7495* или *74 L 95* (аппаратура *Multiplex-Mini 2*). Сопротивление резистора определяется подбором



если коллектор транзистора *T10* и, следовательно, вывод *1* интегральной схемы *IS2* имеют положительный потенциал. Импульсы манипуляции поступают на коллектор транзистора *T8,* на вывод *7* интегральной схемы *IS2* и на выводы *1* и *5* интегральной схемы *IS3* Для точной синхронизации следует измерить сопротивление резистора *R24*, так как резистор *R24* и конденсатор *C16* определяют необходимую для этого величину постоянной времени.

То, что с помощью интегральных схем можно рационально построить даже двухканальный приемник, показывает схема импульсного блока аппаратуры дистанционного управления *Multiplex-Mini 2* (рис. 58). Усиление и формирование импульсов осуществляет каскад, собранный на транзисторе *T5*. Во время прохождения синхронизирующей паузы база транзистора *T7* через резистор *R19* соединена с массой и, таким образом, транзистор *T7* открыт. Если же затем вход *D* интегральной схемы *IS1* получает положительный потенциал, то регистр сдвига становится готовым к счету.

Импульсы манипуляции через диод *D4* положительно заряжают конденсатор *C13*, благодаря этому транзистор *T7* и, следовательно, вход *D* первого триггера запираются. Конденсатор *C13* может разряжаться через резистор *R19* только во время синхронизирующей паузы, за счет чего транзистор *T7* снова открывается. Для надежной синхронизации сопротивление резистора *R19* должно быть точно подобрано.

Для декодирования последовательности импульсов манипуляции регистр сдвига может быть собран на других накопительных элементах. Такими элементами являются четырехслойные диоды или заменяющие их схемы И те и другие применяются в аппарату-

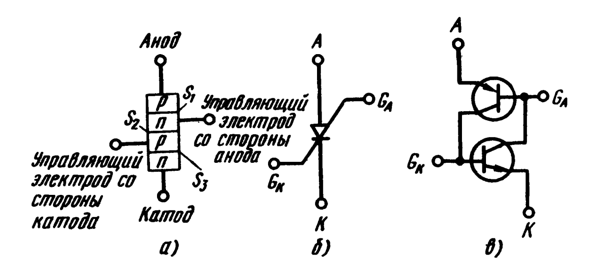


Рис. 59
Четырехслойные диоды: *а* — структура, *б* — обозначение на схемах, *в* равноценная схема

ре дистанционного управления моделями. Четырехслойный диод представляет собой электронный переключатель с двумя устойчивыми состояниями. Такой схемный элемент можно сравнить с триггером. В отличие от тиристоров, часто применяемых в электронных сильноточных приборах (в регулируемых выпрямителях), эти диоды имеют два управляющих электрода — со стороны катода G_K и со стороны анода G_A. Для четырехслойных диодов применяют также названия «кремниевый тетрод» и «тетродный тиристор». Такие диоды и заменяющие их схемы отличаются следующими свойствами:

возможностью отпирания за счет превышения переключающего напряжения без использования управляющих электродов;

более широкими возможностями отпирания и запирания благодаря наличию двух управляющих электродов, за счет чего отпирание возможно подачей положительного управляющего сигнала на управляющий электрод со стороны катода, а запирание — отрицательного (также со стороны катода);

возможностью отпирания с помощью отрицательного или запирания с помощью положительного управляющего сигнала, подаваемого на управляющий электрод со стороны анода;

возможностью запирания четырехслойного диода с помощью прекращения подачи анодного тока или изменения полярности анодного напряжения;

очень коротким временем переключения;

малой мощностью, требуемой для управления;

регулируемым удерживающим током (за счет изменения включения элемента).

Как видно из названия, четырехслойный диод состоит из четырех полупроводниковых слоев, образующих последовательность зон *p-n-p-n*. Эта последовательность, а также обозначения электродов, используемые для четырехслойных элементов, и символические изображения четырехслойных диодов приведены на рис. 59. Там же представлена равноценная четырехслойному диоду схема, состоящая из двух транзисторов, имеющих взаимодополняющие структуры, причем база одного транзистора сое-

динена с коллектором другого.

Если на эту комбинацию четырех полупроводниковых слоев подать напряжение, а именно: положительный полюс источника питания через гасящий резистор подключить к аноду A, а отрицательный полюс —к катоду K, то два из трех имеющихся p-n-переходов — слои $S1$ и $S3$ — будут находиться в проводящем состоянии, а средний p-n-переход $S2$ будет закрыт. На переходе $S2$ падает приложенное напряжение, поэтому через комбинацию четырех полупроводниковых слоев протекает лишь очень малый ток I. Решающими для характеристик отпирания являются коллекторные токи n-p-n- и p-n-p-транзисторов, а также усиление тока обоими транзисторами при таких остаточных токах. Ток I слагается из трех составляющих: остаточного тока I_0, прошедшего через общий запирающий слой $S2$, коллекторного тока p-n-p-транзистора $T \cdot A_{pnp}$ и коллекторного тока n-p-n-транзистора $I \cdot A_{npn}$:

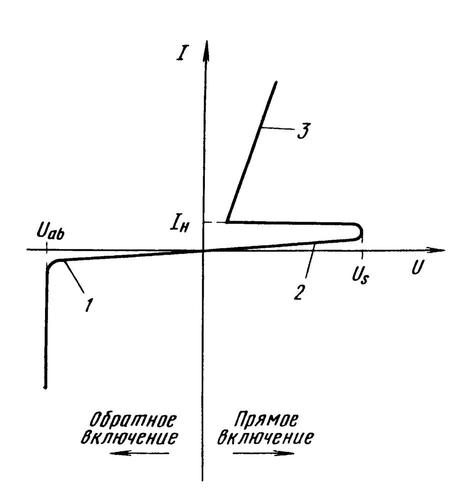
$$I = I_o + I \cdot A_{pnp} + I \cdot A_{npn}, \quad (16)$$

или после небольшого преобразования:

$$I = \frac{I_0}{1 - (A_{pnp} + A_{npn})}, \quad (17)$$

где A_{pnp} и A_{npn} представляют собой коэффициенты усиления по току p-n-p- и n-p-n-транзисторов, включенных по схеме с общей базой. При повышении приложенного извне напряжения увеличивается и протекающий через эти четыре слоя ток. Коэффициенты усиления по току, бывшие вначале очень малыми при малых токах, возрастают. В тот момент, когда $A_{pnp} + A_{npn} = 1$ (начало отпирания), между транзисторами развивается процесс обратной связи, приводящий к отпиранию схемы (переход из высокоомного в низкоомное состояние). При этом ток I ограничивается практически только включенным извне гасящим резистором. Напряжение, при котором начинается процесс отпирания, называется **напряжением переключения** U_S. И наоборот, при уменьшении тока I (например, с помощью увеличения сопротивления гасящего

Рис. 60
Рабочая характеристика четырехслойного диода: 1 – характеристика запирания при обратном включении, 2 – характеристика запирания при прямом включении, 3 – характеристика отпирания при прямом включении



резистора) до определенной величины условие отпирания больше не выполняется, поэтому четырехслойный диод снова переходит из проводящего в запертое состояние. Этот наименьший ток низкоомного режима работы называется удерживающим током I_H. Рабочая характеристика четырехслойного диода показана на рис. 60.

Величину $A_{pnp}+A_{npn}$ можно изменить также с помощью подачи напряжения на управляющие электроды (работа в качестве тиристора или выключаемого тиристора). Положительное или отрицательное управляющее напряжение, подводимое к управляющему электроду со стороны катода, увеличивает или уменьшает A_{npn}. Это справедливо и для управляющего электрода со стороны анода. Четырехслойный диод можно включать даже при напряжениях, меньших напряжения переключения U_S, но, однако, при токах, превышающих удерживающий ток I_H.

Вариант включения четырехслойного диода, обеспечивающий ему возможность двух устойчивых состояний (состояние запирания и состояние отпирания), называется прямым, при этом анод положителен относительно катода. Для диодов с обратным включением (анод отрицателен относительно катода) характеристической величиной является обратное напряжение прерывания U_{ab}, получаемое в виде суммы напряжений прерывания обоих слоев *S1* и *S2*. При обратном включении четырехслойный диод заперт. Обратное напряжение прерывания превышать нельзя.

Как и с помощью триггеров, на основе четырехслойных диодов можно собрать регистр сдвига. Эти диоды использованы, например, для решения задач декодирования в аппаратуре дистанционного управления *Varioprop*. Особенностью этой аппаратуры является то, что супергетеродинный приемник и каскад синхронизации собраны в отдельном (основном) модуле. Счетные каскады регистра сдвига по одному или по два размещаются в одно- или двухканальных модулях сервомеханизмов, куда входит также и соответствующая сервоэлектроника. Эти одно- и двухканальные модули с помощью штекерных разъемов соединяются с основным модулем. Таким простым способом можно получить аппаратуру дистанционного управления, имеющую от одного до шести каналов передачи (рис. 61).

По сравнению с описанными выше образцами аппаратуры дистанционного управления в аппаратуре *Varioprop* использован совершенно другой метод синхронизации, в то время как методы кодирования одинаковы. Информация о пропорциональности команд заключена в изменяемой длительности импульса (1,6±0,65 мс). Благодаря этому схема обработки импульсов также имеет некоторые отличия (рис. 62). Сигнал, принятый супергетеродинным приемником и демодулированный, формируется триггером Шмидта, собранным на транзисторах *T101* и *T102*, в им-

Рис. 61
Приемник аппаратуры *Varioprop* в модульном исполнении

пульсы правильной формы. Разделение канальных и синхронизирующих импульсов производится на коллекторе транзистора *T104*. Конденсатор *C110* через диод *D102* заряжается удлиненным (1,3 мс) импульсом манипуляции и разряжается в паузе до прихода следующего импульса через резистор *R119* и участок база-эмиттер транзистора *T107*.

Следующие короткие импульсы манипуляции заряжают конденсатор *C110* через диод *D102*. Из-за значительно меньшей длительности импульсов, составляющей примерно 0,2 мс, потенциал конденсатогора *C110* возрастает, но лишь незначительно, поэтому только удлиненный импульс манипуляции, равный 1,3 мс, появляется на коллекторах транзисторов *T107* и *T108* в качестве синхронизирующего импульса

Выделенный синхронизирующий импульс дифференцируется *RC*-цепочкой *C115*, *R125* и подается на вывод *1* разъема *Bu102*. На схеме рис. 63 этот импульс изображен в виде запирающего импульса. Полная последовательность импульсов на коллекторе транзистора *T104* дифференцируется *RC*-цепочкой *C113*, *R120* Диод *D103* запирается положительными остроконечными импульсами, поэтому полная последовательность отрицательных канальных импульсов поступает на вывод *3* разъема *Bu102*. Канальные импульсы, последовательно переключающие регистр сдвига, на рис. 63 обозначены как отпирающие импульсы.

Через вывод *1* разъема *Bu102* аноды четырехслойных диодов соединены с общим проводом. Отрицательный пик синхронизирующего (запирающего) импульса соответствует заднему фронту импульса длительностью 1,3 мс. Этот отрицательный пик через общий проводник (вывод *1* разъема *Bu102*) синхронизирует регистр сдвига, манипулируя всеми четырехслойными диодами схемы.

Благодаря срабатыванию регистра сдвига под воздействием следующего (запирающего) импульса на выходе канала *1* появляется отрицательный передний фронт каналь-

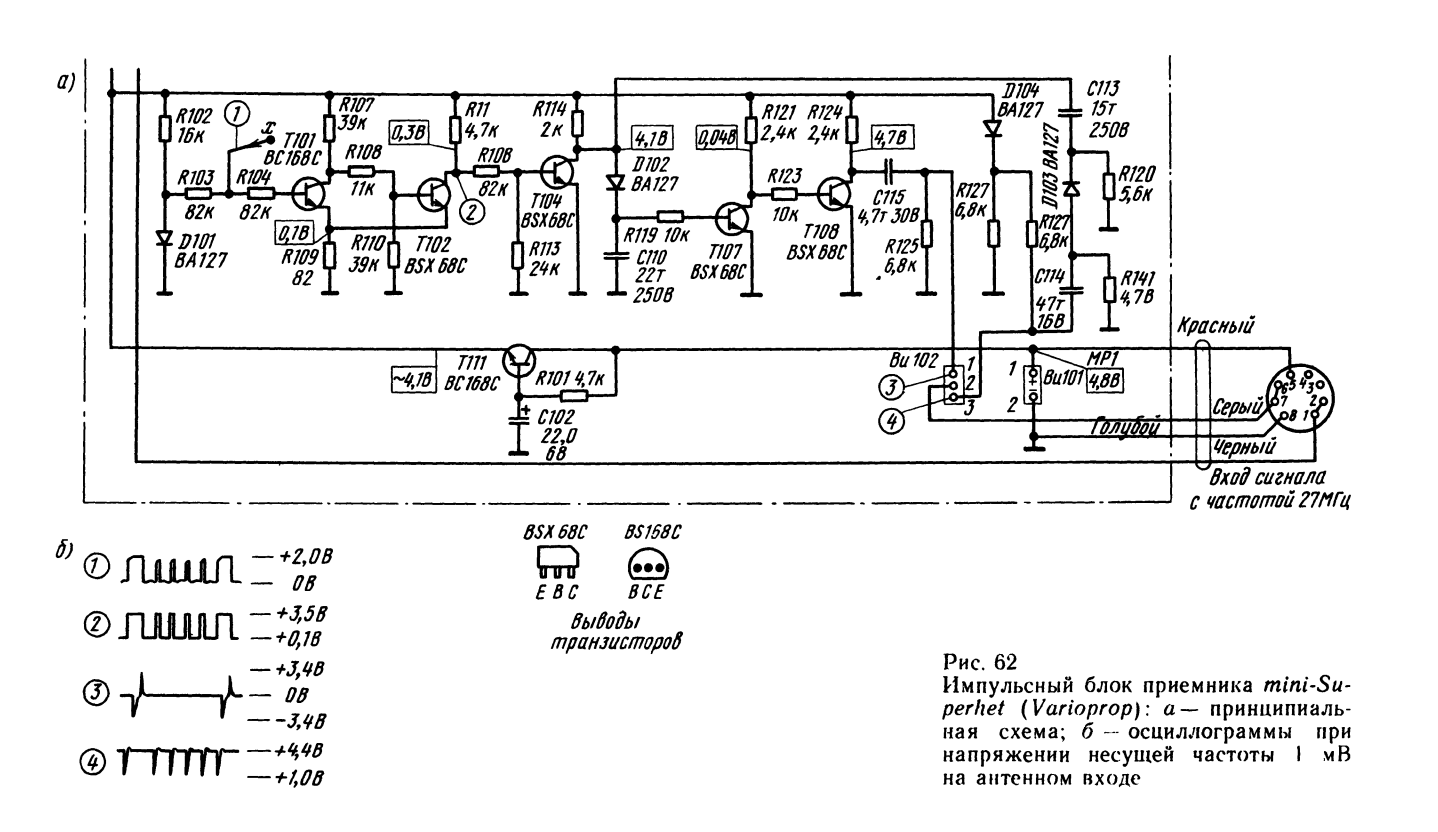


Рис. 62
Импульсный блок приемника *mini-Superhet* (*Varioprop*): *а* — принципиальная схема; *б* — осциллограммы при напряжении несущей частоты 1 мВ на антенном входе

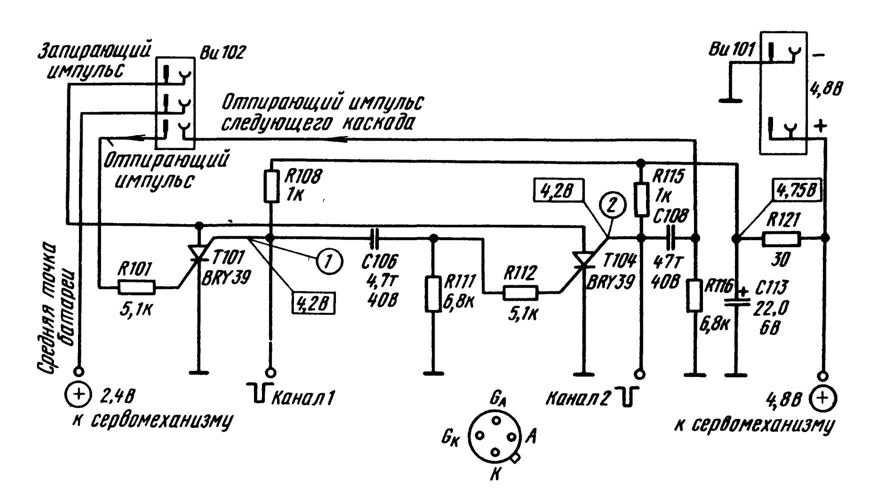


Рис. 63
Регистр сдвига, собранный на четырехслойных диодах для двухканального модуля аппаратуры дистанционного управления

ного импульса. Следующий отрицательный пик последовательности отпирающих импульсов, поступающих через вывод *3* разъема *Ви102,* включает первый счетный каскад. За счет этого на выходе канала *1* появляется положительный (задний) фронт канального импульса. Одновременно этот фронт дифференцируется цепочкой *C106, R111* и включает второй счетный каскад. Описанный процесс повторяется каждым импульсом манипуляции во всех последующих каскадах регистра счета. Таким образом, состояние *L,* которое соответствует канальному импульсу, сдвигается от выхода одного канала к выходу следующего и в такой форме проходит через весь регистр сдвига. Следовательно, синхронизация работы регистра сдвига с работой импульсного блока передатчика осуществляется именно синхронизирующими импульсами манипуляции, имеющими длительность 1,3 мс.

Четырехслойные диоды представляют собой специальные схемные элементы. Они выпускаются лишь небольшими партиями и достаточно дороги Учитывая это, некоторые изготовители аппаратуры дистанционного управления заменяют их в импульсных блоках приемников равноценными им схемами, состоящими из транзисторов со взаимодополняющими структурами. Такой подход использован, например, в аппаратуре *Rowan, Simprop, Robbe.*

Работу регистра сдвига, собранного на схемах, заменяющих четырехслойные диоды, можно рассмотреть на примере аппаратуры дистанционного управления *Start dp* (рис 64) Поступающая последовательность импульсов манипуляции через транзистор *T9* отрицательно заряжает

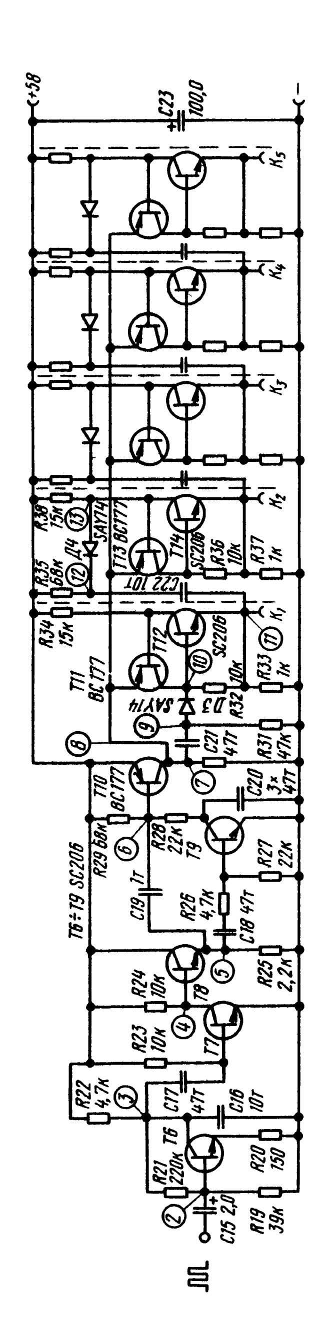


Рис. 64
Регистр сдвига, собранный на схемах, равноценных четырехслойным диодам, для импульсного блока приемника (аппаратура *Start dp 5*)

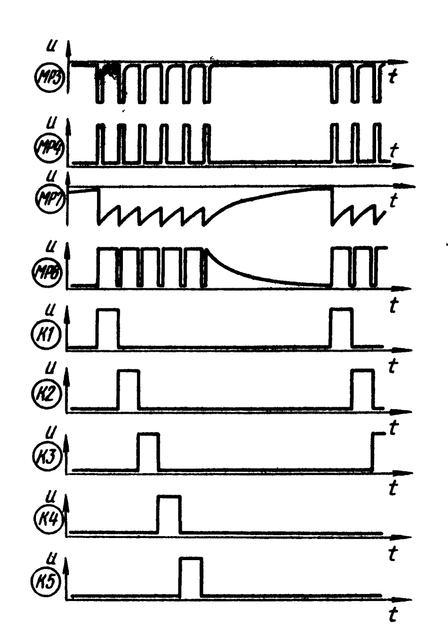


Рис. 65
Импульсные диаграммы схемы, представленной на рис *64*

конденсатор *С20*. Благодаря этому на базу транзистора *Т10* подается отрицательное напряжение и этот транзистор теперь может работать как выключатель, т. е. импульсы манипуляции могут закрывать *Т10*. Первый *L-H*-фронт дифференцируется *RC*-цепочкой *С21, R31*. Пик импульса через диод *D3* поступает на базу транзистора *Т12* и переключает первый счетный каскад в проводящее состояние. Следующий импульс манипуляции снова запирает первый каскад и переключает второй каскад в проводящее состояние. Этот процесс повторяется во всех пяти счетных каскадах (рис. 65 и 66).

Во время синхронизирующей

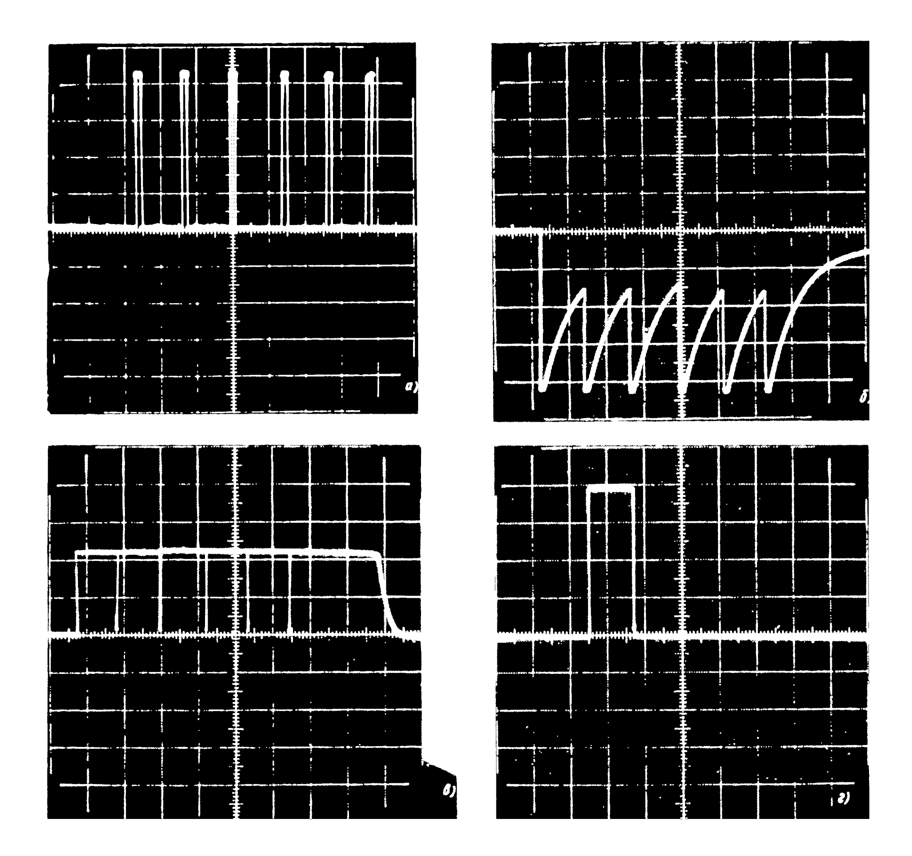


Рис. 66
Осциллограммы схемы, представленной на рис 64: *а* - последовательность импульсов в контрольной точке *МР4*; *б* — синхронизирующий импульс в точке *МР7*; *в* — последовательность импульсов манипуляции в точке *МР8*; *г* — импульс на канальном входе, точка *МР11*

паузы между последовательностями импульсов манипуляции, длящейся более 6 мс, конденсатор *С20* заряжается через резисторы *R28* и *R29*. За счет этого транзистор *Т10* закрывается, все аноды (эмиттеры *р-п-р*-транзисторов) схем, заменяющих четырехслойные диоды, замыкаются на массу, а все счетные каскады приходят в состояние готовности к счету независимо от того, в каком состоянии они до того находились. Этим осуществляется синхронизация регистра сдвига, так как только следующий *L-H*-фронт первого канального импульса может снова «запустить» регистр сдвига.

Такое устройство декодирования работает очень надежно, даже при снижении напряжения питания. Оно многократно оправдало себя на практике.

3.3.3. Исполнительные механизмы для цифровой аппаратуры пропорционального управления

При приеме команды на соответствующем канальном выходе импульсного блока приемника появляется изменяемый по длительности (1,6±0,6 мс) канальный импульс. Задачей исполнительного механизма является преобразование этого пропорционального импульса в требуемую физическую величину. В зависимости от назначения это может быть усилие перекладки для получения определенного угла отклонения руля, тяговое усилие для выбирания шкота или величина рабочего напряжения для электродвигателя, обеспечивающая заданную частоту его вращения. В соответствии с задачами исполнительные механизмы можно разбить на следующие группы:

Рулевые, или перекладочные, сервомеханизмы. Эти сервомеханизмы обеспечивают пропорциональность угла или пути перекладки руля на модели углу отклонения ручки управления на передатчике при сохранении усилия перекладки в течение всего процесса управления. Силовым элементом в таких сервомеханизмах является вращающийся диск или ползун. Эти сервомеханизмы устанавливаются там, где при небольших путях перекладки (10—20 мм) требуются перекладочные усилия, не превышающие 15 Н (например, в рулевых устройствах, системах управления дроссельными заслонками и т. д.). В дальнейшем они будут называться рулевыми сервомеханизмами.

Парусные лебедки и переключающие сервомеханизмы. В этих сервомеханизмах силовой двигатель управляется через переключающий усилитель. Крутящий момент от двигателя к барабану лебедки передается через редуктор. Парусная лебедка развивает усилие тяги до 60 Н при пути выборки троса до 200 мм. Управление ею может осуществляться пропорционально или дискретно («Включено» — «Выключено»). По такому же принципу работают и переключающие сервомеханизмы, применяемые для управления медленными процессами, но требующими больших усилий, например, для управления механизмом.

Регуляторы хода. Для пропорционального управления электроприводами предназначены специальные регуляторы хода. С их помощью крутящий момент или частоту вращения ходового электродвигателя, работающего в любом направлении, можно изменять пропорционально углу отклонения ручки управления на передатчике. Поэтому точнее было бы называть их регуляторами частоты вращения.

Рулевые сервомеханизмы (аналого-цифровые).

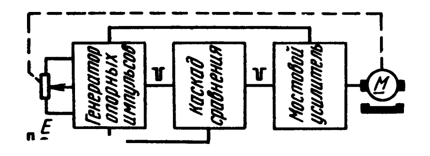
Эти сервомеханизмы состоят из серводвигателя, серворедуктора, сервопотенциометра и соответствующей электронной аппаратуры (именуемой в дальнейшем сервоэлектроникой) Сервоэлектроника преобразует канальные импульсы в аналоговое рабочее напряже-

ние для приведения серводвигателя во вращение в том или ином направлении. Поэтому такие сервомеханизмы и называются аналого-цифровыми.

Серводвигатель вырабатывает механическое усилие, которое через редуктор (как правило, имеющий передаточное отношение 200 : 1), воздействует на руль. Сервопотенциометр фиксирует необходимое для процесса регулирования фактическое значение X регулируемой величины, которое сравнивается сервоэлектроникой с заданным передатчиком значением $X_к$. По результатам сравнения сервоэлектроника начинает процесс регулирования.

Принцип действия рулевого сервомеханизма можно подробнее рассмотреть на примере сервоэлектроники, собранной на дискретных схемных элементах и потому удобной для самостоятельного изготовления. Она состоит из трех функциональных групп: генератора опорных импульсов, каскада сравнения и мостового усилителя (рис. 67). При дистанционном управлении на выходе импульсного блока приемника появляется положительный импульс, длительность которого точно соответствует углу отклонения ручки управления на передатчике. Чтобы преобразовать этот импульс в пропорциональный угол отклонения руля, сервоэлектроника должна располагать собственным масштабом длительности для измерения или сравнения приходящих импульсов управления. Таким масштабом являются генерируемые самой сервоэлектроникой импульсы.

Рис. 67
Блок-схема цифрового сервомеханизма



Приходящий канальный импульс опрокидывает генератор опорных импульсов (представляющий собой моностабильный мультивибратор), на выходе которого появляется опорный импульс противоположной полярности. Канальный и опорный импульсы суммируются в каскаде сравнения. Если длительности обоих импульсов равны, то они взаимоуничтожаются и на входе мостового усилителя не образуется никакого управляющего напряжения — двигатель M не включается. Если теперь изменением положения ручки управления на передатчике изменить длительность канального импульса с соответствующей нейтральному положению исполнительного механизма (1,6 мс) до соответствующей его крайнему положению (2,2 мс), то канальный импульс станет на 0,6 мс длиннее опорного. При этом на выходе каскада сравнения появляется разностный импульс, который поступает на мостовой усилитель. Одно из плеч моста открывается, и серводвигатель начинает вращаться.

С серводвигателем через редуктор связан ползунок потен-

циометра, определяющего длительность импульсов генератора опорных импульсов. Этот ползунок сдвигается работающим серводвигателем до тех пор, пока опорный импульс не будет иметь точно такую же длительность (2,2 мс), как и приходящий канальный импульс. При достижении такого состояния мостовой усилитель снова приходит в равновесие, и серводвигатель останавливается. Такой же процесс регулирования будет иметь место при поступлении канального импульса, более короткого, чем опорный. Но в этом случае серводвигатель будет вращаться в противоположном направлении. Чтобы процесс регулирования проходил быстро и без «качаний», дополнительно предусматривают электронную схему демпфирования.

Генератор опорных импульсов, представляющий собой моностабильный мультивибратор, собран на транзисторах *T1* и *T2* (рис. 68). Так как к этому генератору предъявляются особые требования, он имеет некоторые особенности по сравнению с обычными моностабильными мультивибраторами. Обратная связь выполнена в виде *RC*-цепочки *C2, R19*.

Длительность импульсов должна устанавливаться дважды: во-первых, для процесса сравнения и, во-вторых, для каждого процесса регулирования при дистанционном управлении. Это осуществляется следующим образом. С помощью резистора *R4* генератор опорных импульсов устанавливается точно на среднюю длительность импульса, равную 1,6 мс. Для автоматического регулирования сервоэлектроники предусмотрен потенциометр *R2*, с помощью которого можно изменять длительность импульса в пределах от 1,0 до до 2,2 мс. Пределы изменения длительности импульса и, следовательно, пределы изменения угла поворота ползунка потен-

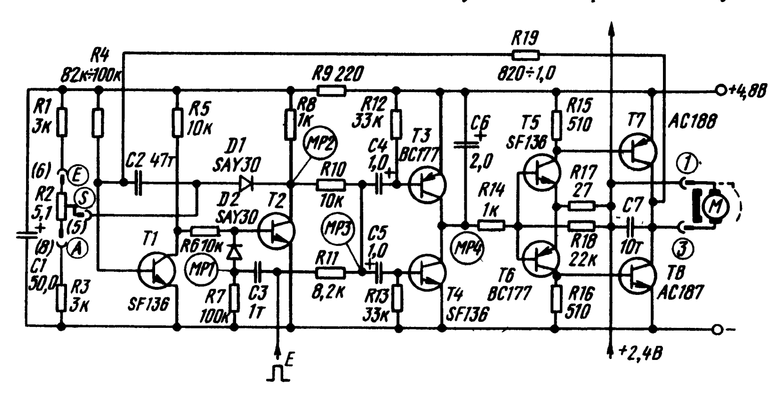


Рис. 68
Сервоэлектроника, собранная на дискретных схемных элементах и удобная для постройки в любительских условиях. Сопротивления резисторов *R1* и *R3* определяют величину пути перекладки и равны 2,2 - 10 кОм

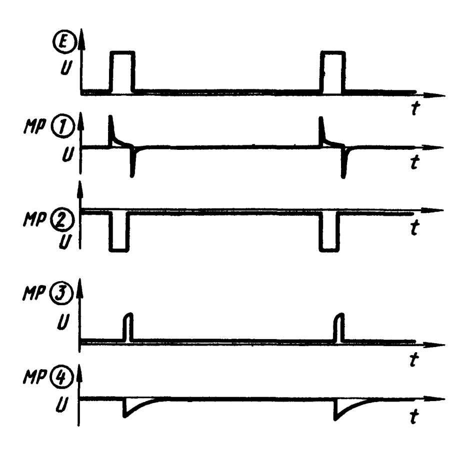


Рис. 69
Импульсные диаграммы схемы, представленной на рис 68

циометра *R2* и румпеля руля можно регулировать подбором сопротивлений резисторов *R1* и *R3*. При увеличении сопротивлений обоих резисторов угол поворота также увеличивается.

Поступающий через конденсатор *C3* и диод *D2* положительный прямоугольный импульс переводит генератор опорных импульсов в неустойчивое состояние (рис. 69 и 70). Время сохранения этого состояния и, следовательно, длительность импульса зависят от номиналов резисторов *R1, R2, R3, R4* и конденсатора *C2*. Величина *R4* определяет рабочую точку транзистора *T1* и одновременно среднюю длительность импульса.

Опорный импульс снимается с контрольной точки *МР2* и через резистор *R10* поступает в точку сравнения *МР3*. Импульс управления, несущий пропорциональную информацию, также подается в эту точку через резистор *R11*. Сопротивления резисторов *R10* и *R11* выбираются так, чтобы амплитуды обоих импульсов были равны в точке *МР3*. Если теперь положительный импульс управления и отрицательный опорный импульс имеют одинаковые длительности, то они взаимоуничтожаются в точке *МР3*. Если же их длительности различны, то на *МР3* появляется положительный или отрицательный остаточный импульс. Положительный остаточный импульс открывает транзистор *T4* и усиливается, отрицательный — открывает транзистор *T3*.

Усиленный импульс (точка *МР4*) в большей или в меньшей степени — в зависимости от его длительности — заряжает конденсатор *C6*. В результате получают преобразование длительности импульса в пропорциональное ей пульсирующее постоянное напряжение. Если же сигнал в точке *МР3* отсутствует, то транзисторы *T3* и *T4* остаются запертыми и напряжение в точке *МР4* равно половине напряжения питания. Оба плеча моста усилителя постоянного тока образованы транзисторами *T5, T7* и *T6, T8*. Между выходом усилителя и средним выводом от батареи питания (+2,4 В) включен серводвигатель. Если оба транзистора *T7* и *T8* заперты, то через двигатель ток протекать не может, т. е. двигатель не вращается.

Если длительность подавае-

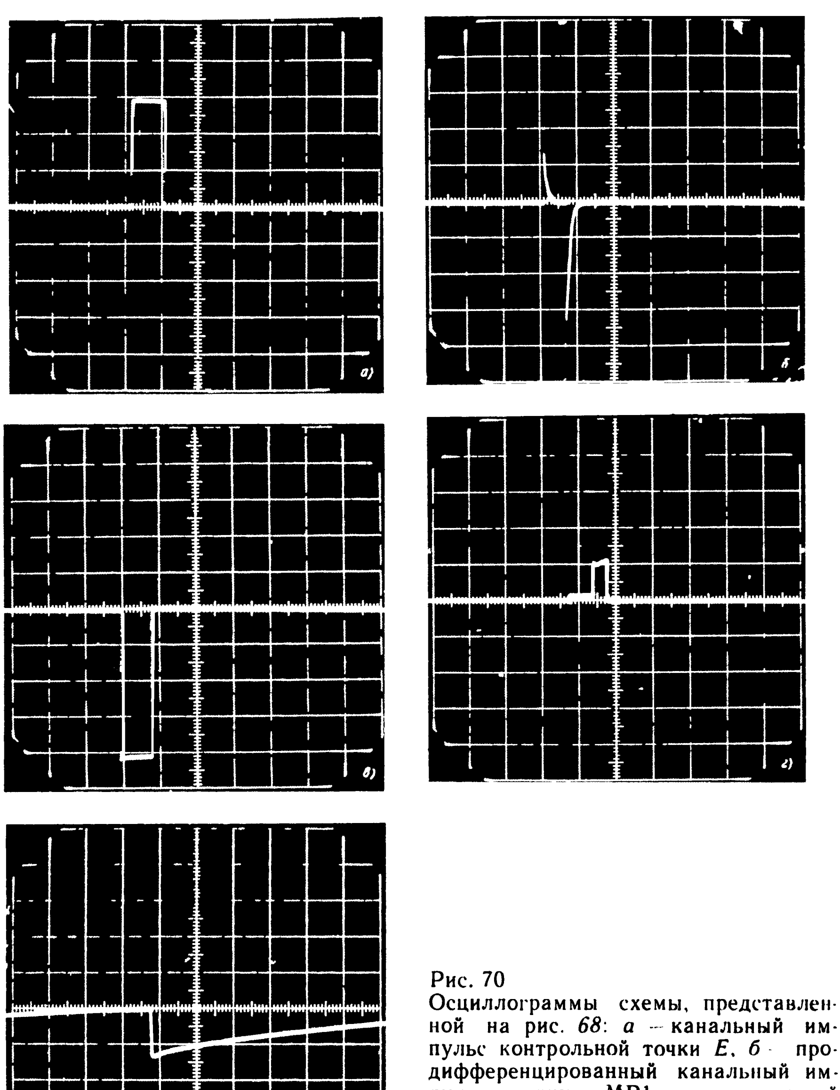


Рис. 70
Осциллограммы схемы, представленной на рис. *68*: *а* — канальный импульс контрольной точки *Е*, *б* — продифференцированный канальный импульс точки МР1; *в* — опорный импульс в точке МР2; *г* — прямоугольный импульс в точке МР3, *д* — растянутый прямоугольный импульс в точке МР4

мых на вход *Е* импульсов изменилась, то процесс регулирования производится следующим образом. Сигнал управления опрокидывает генератор опорных импульсов Оба сигнала сравниваются в точке *МР3* и выделяется остаточный импульс. Пусть он будет положительным. Этот импульс открывает транзисторы *Т4* и *Т6*, а транзистор *Т5* запирает. В ре-

зультате транзистор *T8* открывается, а транзистор *T7* остается запертым, т. е. ток может проходить через транзистор *T8*, серводвигатель и источник питания. Двигатель начинает вращаться и через редуктор перемещает ползунок потенциометра *R2*. Вращение двигателя продолжается до тех пор, пока длительность опорных импульсов не станет равной длительности импульсов управления. Тогда эти импульсы взаимоуничтожаются в точке *MP3*, и схема снова приходит в состояние равновесия. Серводвигатель останавливается.

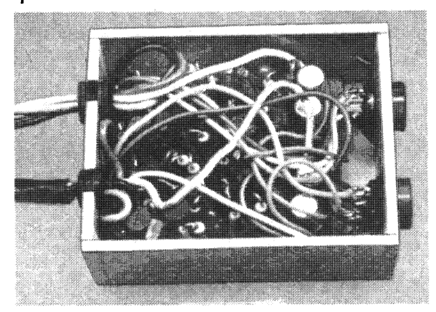
В рассмотренном случае импульсы управления были длиннее опорных, если же они короче, такой процесс протекает в другом плече усилителя.

При реализации процесса регулирования серводвигатель может совершать колебания, переходя через положение, заданное командой. Ползунок потенциометра *R2* при этом намного отклоняется от заданного положения, длительность опорных импульсов также изменяется и поэтому процесс регулирования начинается в обратном направлении. В конце концов это приводит к тому, что рулевой исполнительный механизм постоянно совершает колебания относительно своего заданного положения. Вследствие колебаний механизма ускоряются разряд батареи и износ редуктора.

Средством борьбы с этим явлением является электронное демпфирование, которое обеспечивают возвратом — по линии обратной связи — части напряжения двигателя на генератор опорных импульсов. Подача этого напряжения приводит к замедлению вращения двигателя при подходе его к положению покоя, т. е. осуществляет его демпфирование, которое происходит только в процессе разгона или выбега серводвигателя, не оказывая влияния на скорость его вращения и на угол отклонения руля.

Демпфирование производится с помощью резистора *R19*. Для управления серводвигателем в оконечном каскаде установлены два германиевых транзистора со взаимодополняющими структурами средней мощности, так как они имеют более низкое остаточное напряжение U_{CE}, чем кремниевые транзисторы. Благодаря этому транзисторы оконечного каскада имеют температурную стабилизацию и их рабочую точку можно установить более точно. Эту задачу выполняют резисторы *R17*, *R18* с предоконечным каскадом, собранным на транзисторах *T5* и *T6*. Об-

Рис. 71
Образец выполнения сервоэлектроники, схема которой представлена на рис. *68*



разец блока сервоэлектроники, собранного по схеме, изображенной на рис. 68, показан на рис. 71.

Указания по настройке блока сервоэлектроники (см. рис. 68).

При подаче сигнала на вход и подключении сервопотенциометра (при отключенном двигателе) на осциллографе просматривают импульсы в контрольных точках. Если эти импульсы соответствуют импульсам, воспроизведенным на рис. 69 и 70, то подключают серводвигатель и замеряют потребляемый им ток. В зависимости от типа двигателя ток должен иметь примерно следующие значения:

$I_{min} \approx 10$ мА (двигатель в состоянии покоя);

$I_{max} \approx 150$ мА (двигатель вращается на холостом ходу).

Если при правильной работе усилителя (по результатам проверки на осциллографе) серводвигатель всегда производит перекладку руля до упоров, то необходимо или поменять полярность подключения двигателя или поменять местами выводы *A* и *E* потенциометра. Если процесс работы серводвигателя не изменяется, то направление его вращения можно поменять при одновременном переключении выводов двигателя и потенциометра.

При нейтральном положении рулевого сервомеханизма ползунок потенциометра *R2* должен находиться примерно в середине резистивной дорожки. Точную установку нейтрального положения можно осуществить соответствующим подбором резистора *R4*. Чтобы подобрать этот резистор, вместо него следует установить потенциометр с номиналом 100 кОм, замерить сопротивление при нужном положении сервомеханизма и затем заменить его одним или двумя постоянными резисторами. Таким образом, среднее время манипулирования генератора опорных импульсов можно установить в пределах — в зависимости от варианта аппаратуры — от 1,5 до 1,7 мс. Номиналы элементов схемы, представленной на рис. 68, рассчитаны на среднее время манипулирования 1,6 мс.

Пределы изменения длительности опорных импульсов (±0,6 мс) могут быть установлены перекладкой руля на определенный угол и подбором соответствующих резисторов *R1* и *R3*. Это дает возможность определять предельные углы перекладки руля с помощью сервоэлектроники.

Сопротивления резисторов *R1* и *R3*, указанные на схеме (рис. 68), являются средними. Если их уменьшить, то угол перекладки руля уменьшится, и наоборот — при их увеличении угол увеличивается. Но при этом угол отклонения руля не должен быть слишком большим, чтобы ползунок потенциометра или серворедуктор не доходили до упоров. Это относится к случаю полного отклонения ручек управления и подстройки, расположенных на передатчике. Продолжения работы сервомеханизма после достижения им упора следует избегать, так как это приводит к повреждению редуктора, дви-

гателя или электронной схемы (транзисторов оконечного каскада).

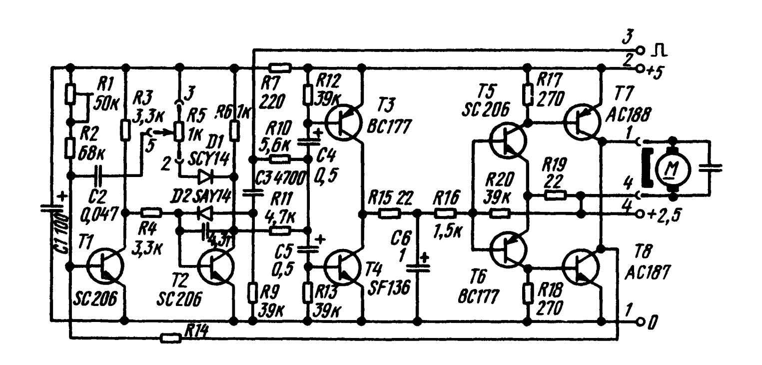
Если рулевой сервомеханизм совершает колебания относительно нейтрального положения или слишком медленно подходит к этому положению (что соответствует слишком слабому или слишком сильному демпфированию), то изменением сопротивления резистора *R19* можно найти оптимальное значение димпфирования. Для этого сначала вместо *R19* в схему устанавливают последовательно включенные потенциометр 1 МОм и постоянный резистор 470 кОм. После окончания настройки замеряют необходимое сопротивление постоянного резистора *R19*.

Различия в схемах сервоэлектроники, предназначенной для самостоятельного изготовления (рис. 68), и аппаратуры *Start dp* промышленного изготовления (рис. 72) незначительны. Следует лишь отметить, что для установки среднего положения предусмотрен подстроечный потенциометр *R1*, а в качестве регулировочного использован потенциометр *R5* сопротивлением 1 кОм. Включение подстроечного потенциометра первоначально было применено в сервоэлектронике *Tiny-Servos* фирмы *Simprop*.

В сервомеханизмах промышленного изготовления сервоэлектроника в большинстве случаев собирается на одной небольшой плате и размещается в одном корпусе с этим механизмом (см. рис. 79).

Другое конструктивное решение для размещения сервоэлектроники выбрано в аппаратуре дистанционного управления *Varioprop*. В этой аппаратуре каскады регистра сдвига (собранные на четырехслойных диодах) и сервоэлектроника объединены в одном модуле. Благодаря этому канальные модули могут быть установлены на основном модуле, содержащем супергетеродинный приемник, и образовать приемник, имеющий до шести каналов передачи. За счет этого получено очень простое и относительно дешевое решение, позволяющее в зависимости от

Рис. 72
Сервоэлектроника аппаратуры *Start dp*



необходимости получать аппаратуру, имеющую большее или меньшее количество каналов.

Одноканальный модуль сервомеханизма, использованный в аппаратуре *Varioprop,* также выполнен на дискретных схемных элементах (рис. 73). Так как регистр сдвига выдает отрицательные канальные импульсы, генератор опорных импульсов выполнен на кремниевых *p-n-p*-транзисторах. Работа этой схемы ничем не отличается от работы схемы, представленной на рис. 68, номиналы схемных элементов этих схем отличаются очень мало. Исполнительный механизм соединяется с потенциометром через разъем *Bu102*. Соответствующий каскад регистра сдвига, собранный на четырехслойных диодах, выпол-

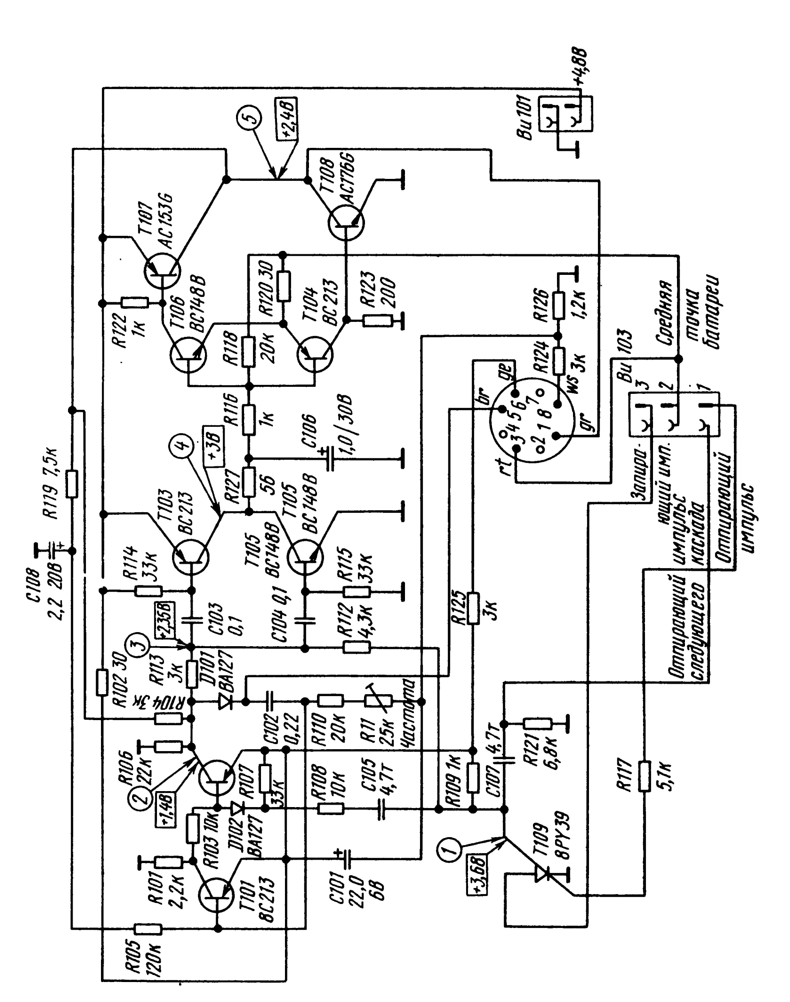


Рис. 73
Одноканальный модуль сервомеханизма (аппаратура *Varioprop*)

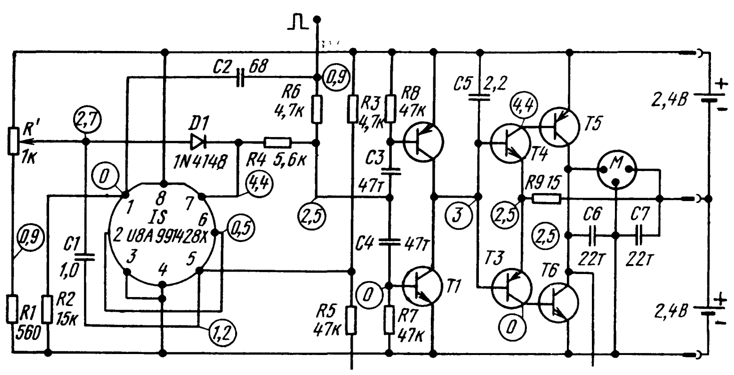


Рис. 74
Сервоэлектроника *RPC 10*, выполненная с использованием интегральной схемы (аппаратура *Rowan*) Транзисторы *T1*; *T4* типа *2N 4286*; *T2*, *T3* типа *2N 4288*; *T5* типа *MPS 6534*, *T6* типа *MPS 6531*

нен также в виде модуля.

Следующим шагом в развитии сервоэлектроники было применение интегральных схем для выполнения отдельных функций. В сервоэлектронике аппаратуры *RS6* фирмы *Rowan* генератор опорных импульсов выполнен с помощью одной интегральной схемы (рис. 74). Благодаря этому, а также благодаря использованию кремниевых транзисторов можно было значительно повысить эксплуатационную надежность этой аппаратуры. Количество внешних схемных элементов было сокращено. Так как в оконечном каскаде применены кремниевые транзисторы, этот каскад — несмотря на отсутствие схемы формирования напряжения смещения — имеет очень хорошую температурную стабильность. Во французском варианте аппаратуры интегральная схема типа *UBA 991428X* заменена схемой типа *MU914*

Расширяющийся рынок сбыта электронной аппаратуры дистанционного управления моделями делает разработку специальных интегральных схем даже рентабельной. Например, двухканальный модуль сервомеханизма аппаратуры *Varioprop* включает специальные интегральные схемы типа *SAK 100* (рис. 75). Эти интегральные схемы выполняют все активные функции, вплоть до управления работой транзисторов обоих оконечных каскадов. Использование специальных интегральных схем не только увеличивает эксплуатационную надежность аппаратуры дистанционного управления, но и повышает точность отработки и повторимости команд сервомеханизмом. За счет точного режима переключения, обеспечиваемого интегральными схемами типа *SAK 100,* сервомеханизм даже при малых путях перекладки руля развивает уже достаточные усилия

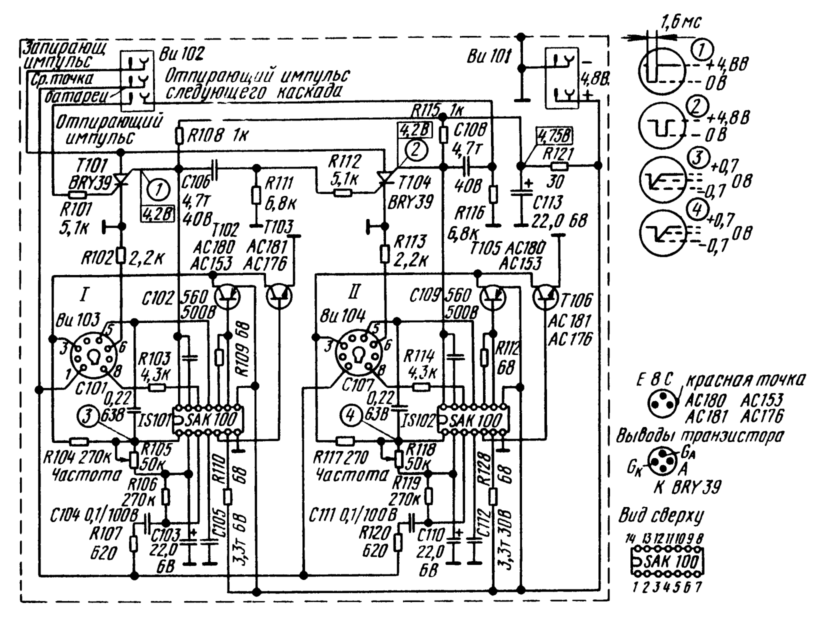


Рис. 75
Двухканальный модуль сервомеханизма, выполненный с использованием специальных интегральных схем типа *SAK 100* (аппаратура *Varioprop*) Осциллограммы получены при среднем положении ручки управления и при подключенной рулевой машинке

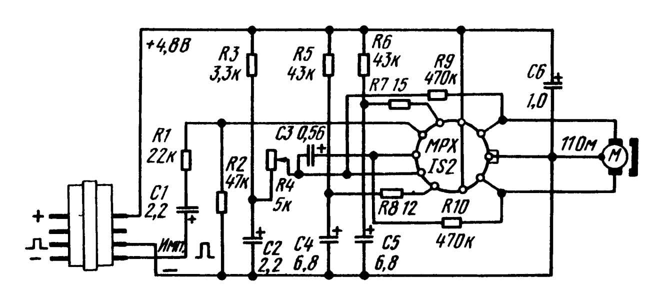


Рис. 76
Сервоэлектроника, выполненная с применением интегральной схемы типа *WE 3141* (аппаратура *Multiplex*)

Дальнейшее развитие электроники привело к появлению в 1975 г. сервоэлектроники, полностью собранной на интегральной схеме лишь с небольшим количеством внешних схемных элементов (рис. 76). Специальная интегральная схема типа *WE 3141* содержит цифровую сервоэлектронику, включая оконечный каскад, который выполнен в виде моста, благодаря чему отпадает необходимость в подключении к средней точке аккумулятора (+2,4 В). Эта сервоэлектроника обеспечивает точность отработки команд порядка 0,5%. Точность отработки и повторимость команд сервомеханизма

определяются теперь механическими параметрами (зазорами в редукторе, трением) и параметрами канала передачи сигналов (полосой пропускания, автоматической регулировкой усиления). Специальная интегральная схема типа *WE 3141* очень хорошо зарекомендовала себя на практике, поэтому эта схема или ее эквиваленты все больше применяются при изготовлении аппаратуры дистанционного управления.

Выбором соответствующих значений для *R3, C2, R4* и *C3* можно регулировать среднюю длительность опорного импульса и, следовательно, определять среднее и крайние положения сервомеханизма. *RC*-цепочки *R5, C4, R8* и *R6, C5, R7* растягивают остаточные импульсы Параметры этих цепочек выбраны так, чтобы серводвигатель включался даже при самых коротких остаточных импульсах и, таким образом, точность отработки команд и мертвая зона оставались в заданных пределах. Сопротивления резисторов *R9* и *R10* определяют интенсивность демпфирования двигателя при подходе его к заданному положению. Их выбирают так, чтобы двигатель останавливался быстро, но без колебаний, а сервомеханизм не колебался относительно заданного положения.

При постройке рулевых сервомеханизмов приходится решать ряд проблем. Поэтому для моделистов, интересующихся самостоятельной постройкой этих важных узлов аппаратуры дистанционного управления, следует назвать эти проблемы и перечислить конструкции, оправдавшие себя на практике. Требования, предъявляемые к рулевым сервомеханизмам, довольно различны в зависимости от условий их применения. Управление небольшой медленно движущейся моделью судна не предъявляет таких высоких требований к качеству этих механизмов, как, например, управление скоростной и сложной радиоуправляемой моделью самолета. Предъявляемые к сервомеханизмам требования можно свести к следующим пунктам:

высокие механическая прочность и вибропрочность;

большой срок службы (большое число рабочих циклов);

большое усилие перекладки (от 10 до 15 Н) или момента перекладки (от 10 до 15 Н · см) при малом времени этого процесса (от 0,3 до 0,5 с на весь путь перекладки);

малые зазоры при небольшом трении;

самостопорение;

большая точность отработки и повторимости команд (более 1 %);

возможность получения полного усилия перекладки даже при малом ее пути,

малые температурный дрейф и уход напряжения (менее 2 %).

Это перечисление можно было бы продолжить, но безусловно важные критерии уже указаны выше. Два последних требования могут быть удовлетворены в основном с помощью электронной аппаратуры

Здесь следует лишь указать на проблемы, возникающие при необходимости обеспечить точность отработки команды, не превышающую 1%. Чтобы рулевой сервомеханизм не совершал колебаний относительно заданного положения (заданного угла или пути перекладки) или относительно нейтрального положения, он должен иметь, с одной стороны, эффективное электронное демпфирование и, с другой стороны, мертвую зону. Несмотря на эффективное демпфирование, каждый сервомеханизм должен обладать зоной выбега, равной половине его мертвой зоны.

Сервомеханизм не должен включаться, пока перемещения ручки управления на передатчике не выходят из пределов мертвой зоны. Но при выходе ее за пределы зоны должно быть сразу же развито полное усилие перекладки. Это усилие в аналого-цифровых сервомеханизмах зависит от напряжения, подаваемого на двигатель. Но при небольшом отходе ручки управления от мертвой зоны напряжение, подаваемое на двигатель, невелико и достигает полной амплитуды только при определенной разнице между длительностями канального и опорного импульсов. Другими словами, требование к аналого-цифровым сервомеханизмам, согласно которому они должны развивать полное усилие перекладки при ее малом пути, не может быть выполнено.

Иное дело — чисто цифровые сервомеханизмы. Здесь на серводвигатель поступает импульсное напряжение, достигающее полной амплитуды сразу же после выхода его из мертвой зоны. Следовательно, цифровой сервомеханизм при выходе из мертвой зоны вращается с полным усилием. Поэтому такие сервомеханизмы должны иметь очень эффективное и точно регулируемое демпфирование.

Из сказанного выше можно также сделать вывод о том, что мертвая зона цифрового сервомеханизма не должна быть очень малой, так как при малой мертвой зоне возникает опасность появления колебаний в процессе управления. В современных цифровых сервомеханизмах мертвая зона электронной схемы составляет менее 0,5%, что с учетом зазоров в серворедукторе и других влияющих факторов позволяет получить точность отработки команд более 1%, или точность установки управляющего диска (или ползуна) в заданное положение порядка 0,1—0,2 мм. Более жесткие требования вряд ли могут быть удовлетворены при приемлемых затратах, так как они не будут означать заметного прогресса в технике управления моделями на расстоянии.

Рулевой сервомеханизм должен быть настолько прочным, чтобы надежное управление моделью было обеспечено при вибрации, вызываемой ее двигателем, а также при падениях и жестких посадках модели. Современный сервомеханизм, имеющий встроенную электронную схему, проверяют на

вибропрочность при перегрузке $30g$ ($g = 9,81$ м·с$^{-2}$) и частоте от 0 до 300 Гц в течение более 60 мин. Критическими точками являются места подвески или крепления сервомеханизма и серводвигателя. Поэтому крепежный фланец должен быть малогабаритным, а сервомеханизм следует устанавливать на резиновых прокладках (рис. 77—82). Очень прочное крепление получают при пропускании крепежных винтов через корпус (рис. 83), который получают литьем из ударопрочной пластмассы.

Срок службы сервомеханизма при эксплуатации, отвечающей условиям инструкции (отсутствие ударов, неправильных включений источника питания, перегрузок и т. д.), определяется главным образом сроком службы серводвигателя и потенциометра. Наиболее важными факторами при этом являются число рабочих циклов и требуемый путь перекладки. Целесообразно поэтому руль и элементы передачи усилия конструировать так, чтобы снизить потребные усилия (например, использовать балансировочный руль, устранить источники трения или зацепления в рычажном механизме и т. д.).

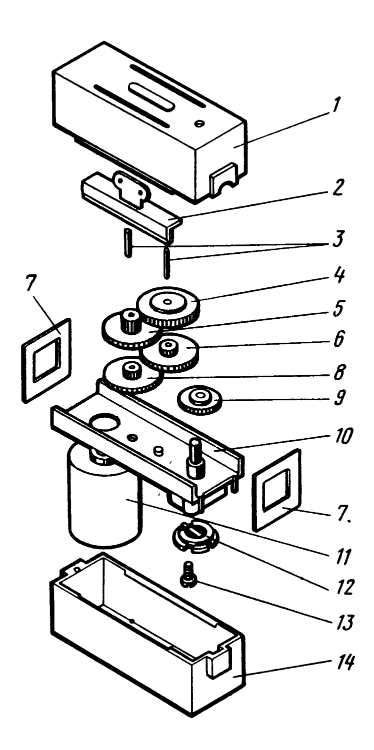


Рис. 78
Пропорциональный сервомеханизм с электронной схемой (аппаратура *Microprop*): *1* — верхняя часть корпуса, *2* — ползун, *3* оси, *4* — зубчатое колесо *4*, *5* зубчатое колесо *3*, *6* — зубчатое колесо *2*, *7* замыкающая пластина, *8* зубчатое колесо *1*, *9* — зубчатое колесо *5*, *10* рама сервомеханизма, *11* серводвигатель, *12* — потенциометр, *13* крепежный винт, *14* нижняя часть корпуса

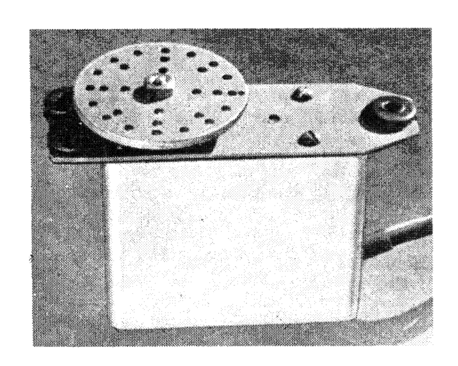


Рис. 77
Пропорциональный сервомеханизм *Servomatik 15 Prop* без электронной схемы

Серводвигатели представляют собой специальные малогабаритные электродвигатели,

начинающие работу при подаче на них напряжения *1 В* и развивающие номинальный крутящий момент при подаче 2 В. Наиболее важными требованиями к ним являются требования относительно механической прочности, вибропрочности и срока службы.

Номинальные крутящий момент и частота вращения определяют конструкцию редуктора. При этом во всех случаях приходится идти на компромисс между путем и скоростью перекладки. Оправдало себя передаточное отношение между осью двигателя и валом потенциометра (чаще всего этот вал является одновременно и валом привода) порядка 200 : 1. При необходимости получать усилие перекладки более 10 Н сервоpедуктор должен иметь большее передаточное отношение, что при том же серводвигателе приводит к большему времени перекладки руля. Применение зубчатых колес позволяет изменять передаточное отношение даже при использовании одного серворедуктора. Например, в сервомеханизме,

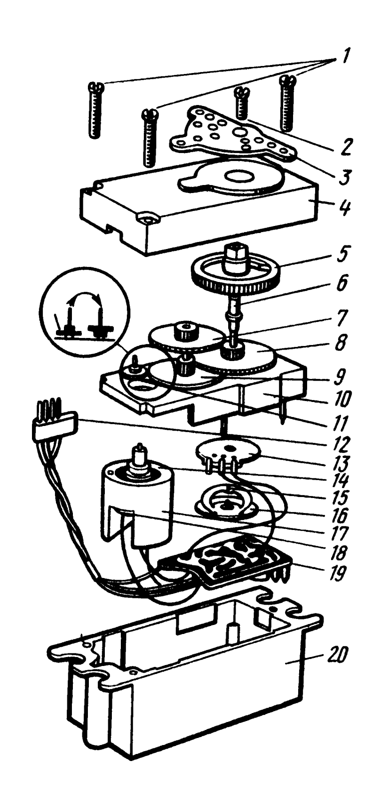
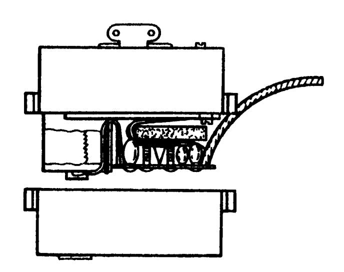


Рис. 80
Пропорциональный сервомеханизм *Super-IS-Servo* с электронной схемой (аппаратура *Multiplex*) Габариты 46×40×22 мм, масса 55 г *1* винты крепления крышки, *2* винт крепления управляющего сегмента, *3* управляющий сегмент, *4* крышка, *5* – зубчатое колесо привода, *6* вал, *7* – зубчатое колесо *3*, *8* – зубчатое колесо *2*, *9* зубчатое колесо *1*, *10* — рама сервомеханизма, *11* изменение направления вращения посредством перестановки зубчатого колеса, *12* штекер, *13* резистивная дорожка, *14* ведущее зубчатое колесо, *15* – ползунок, *16* плата ползунка, *17* двигатель, *18* соединительная колодка, *19* электронная схема, *20* корпус

Рис. 79
Установка электронной схемы в корпусе сервомеханизма



показанном на рис. 80, перестановкой одного зубчатого колеса можно получить редукторы нормального и усиленного вариантов, имеющие:

в нормальном варианте крутящий момент 17 Н·см, а время перекладки 0,3 с;

в усиленном варианте крутящий момент 35 Н·см, а время перекладки 0,9 с.

Серворедукторы в большинстве случаев выполняют с цилиндрическими зубчатыми колесами (рис. 78—81), в редких случаях—в виде планетарной передачи (рис. 82). Если зубчатые колеса расположены од но за другим, то получают удлиненную конструкцию, в которой под основной панелью редуктора вместе с серводвигателем предусмотрено место для сервоэлектроники (рис. 79). Зубчатые колеса чаще всего изготавливают литьем из самосмазывающихся пластмасс. Если зубчатые колеса, имеющие очень различные диаметры, расположены друг над другом в нескольких уровнях (рис. 78, 80 и 81), то получают довольно компактную конструкцию. Чем меньше зубчатых колес имеет серворедуктор, тем меньшим может быть его суммарный зазор, благодаря чему при тех же допусках на механическую обработку он будет обладать меньшим зазором и меньшим трением. С этой точки зрения хорошим является редуктор, показанный на рис. 81. Редуктор же сервомеханизма, показанного на рис. 7", из-за мало отличающихся по диаметру зубчатых колес и поэтому из-за большого числа этих колес

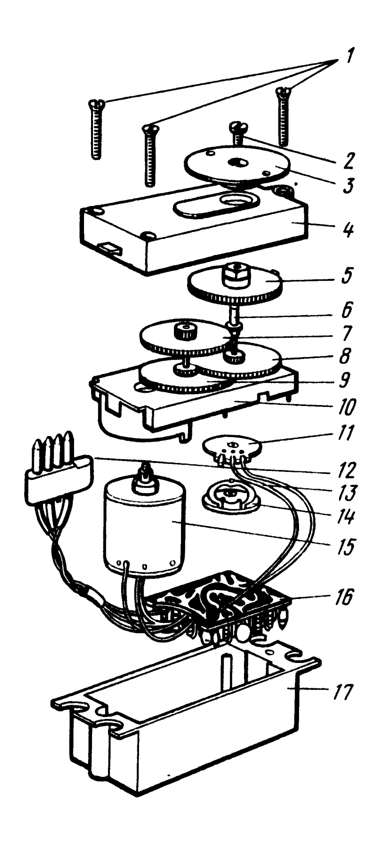


Рис. 81
Пропорциональный миниатюризированный сервомеханизм *IS-Mikro Servo* с электронной схемой (аппаратура *Multiplex*). Габариты 38×31×19 мм, масса 35 г: *1* — винты крепления крышки, *2* — винт крепления управляющего диска, *3* — управляющий диск, *4* — крышка, *5* — зубчатое колесо привода, *6* — вал, *7* — зубчатое колесо *3*, *8* — зубчатое колесо *2*, *9* — зубчатое колесо *1*, *10* — рама сервомеханизма, *11* — резистивная дорожка, *12* — штекер, *13* — ползунок, *14* — плата ползунка, *15* — двигатель (11 Ом), *16* - электронная схема *17* корпус

имеет относительно большой суммарный зазор.

Требования, касающиеся суммарного зазора, не следует слишком преувеличивать. Получение малых зазоров требует малых допусков на механическую обработку, что значительно удорожает редуктор. Кроме того, редуктор, имеющий малые зазоры, очень склонен к «заеданиям», причиной которых могут быть малейшие загрязнения или небольшие разрегулировки. Но «заедания» нежелательны в любом случае, так как они снижают эффективное усилие на руле и ведут к перегрузке серводвигателя, сервоэлектроники, а также батареи, укорачивая время ее работы.

Самостопорение серводвигателя может быть выполнено без специальных устройств, так как в отличие от рулевых машинок аппаратуры дискретного дистанционного управления, возвращаемых в нейтральное положение с помощью пружин, серводвигатель жестко связан с редуктором. Силы, действующие на руль при движении модели в воздухе или в воде, не так велики, чтобы извне изменить положение сервомеханизма. Чтобы это случилось, серводвигатель должен был бы иметь редуктор с передаточным отношением 1 : 200. При этом внешние силы вначале должны согнуть управляющую тягу или рычаг руля.

Конструктивно сервомеханизмы различаются также по типу передачи управляющего усилия. Простейшим устройством является вращающийся привод, в котором управляющий диск или управляющий рычаг закреплен на оси потенциометра (см. сервомеханизмы на рис. 77, 80—82).

С целью экономии места в авиамоделях были разработаны сервомеханизмы с управляющими ползунами для получения поступательного движения (рис. 83). Сервомеханизм, показанный на рис. 78, в этом отношении является универсальным, так как он оснащен как вращающимся диском, так и ползунами.

Рулевые сервоприводы различаются также размещением сервоэлектроники — в корпусе сервомеханизма или вне его. В корпусах сервомеханизмов, показанных на рис. 79—81, предусмотрено место для электронной схемы. А сервомеханизмы, показанные на рис. 82 и 83, не имеют места для ее размещения, поэтому сервоэлектронику в виде отдельного модуля (рис. 61) устанавливают на основной модуль, содержащий супергетеродинный приемник. Оба варианта, т.е. размещение сервоэлектроники в корпусе сервомеханизма и объединение ее с приемником (в одном корпусе или с помощью штекерного разъема), пригодны для дальнейшего усовершенствования аппаратуры. Но установка сервоэлектроники в сервомеханизме значительно удорожает его. Перестановка приемника с одной модели на другую может быть произведена относительно легко и быстро, если сервомеханизмы не оснащены электронными схемами и могут

быть оставлены на моделях. Размещение сервоэлектроники в сервомеханизме снижает массу и размеры приемника.

Рис. 82
Пропорциональный сервомеханизм *mini Servo* с рулевым рычагом, без электронной схемы (аппаратура *Varioprop*). Габариты 35×18×33 мм, масса 40 г

Переключающие усилители

Если с помощью исполнительного механизма необходимо получать большие пути или усилия перекладки (или то и другое одновременно), например при управлении парусом или при работе подъемного механизма, то рулевых сервомеханизмов здесь будет уже недостаточно. Но посредством небольшого изменения сервоэлектронику можно превратить в переключающий усилитель, с помощью которого на серводвигатель можно подавать повышенную мощность, так как вместо транзисторов в оконечном каскаде теперь установлены реле. В отличие от сервоэлектроники переключающий усилитель подает на двигатель не пульсирующее постоянное напряжение, а точно включает или отключает подачу рабочего напряжения.

Рис. 83
Пропорциональные сервомеханизмы с управляющими ползунами, без электронных схем (аппаратура *Varioprop*): большой сервомеханизм, габариты 60×23×27 мм, масса 50 г (вверху) и малый сервомеханизм *Micro Servo 0,5*, габариты 45×29××19 мм, масса 33 г (внизу)

С помощью переключающегося усилителя можно путь перекладки сделать пропорциональным отклонению ручки управления на передатчике. Из схемы, изображенной на рис. 84, видно, что переключающий усилитель сильно отличается от сервоэлектроники (рис. 68). Транзисторы *T1* и *T2* образуют генератор тактовых импульсов. Каскад сравнения, собранный на транзисторах *T3* и *T4*, остался почти неизменным. Однако к этому каскаду подключен не усилитель

со средней точкой, а два переключающих транзистора *T5* и *T6*. В точке *MP2* производится сравнение положительного входного импульса и отрицательного опорного импульса.

Положительный или отрицательный остаточный импульс управляет — в зависимости от своей полярности — транзистором *T3* или *T4* Усиленные таким образом импульсы заряжают конденсатор *C6* или *C7* и сглаживаются за счет этого. Благодаря этому управление транзистором *T5* или *T6* производится мало пульсирующим током.

Емкости конденсаторов *C6* и *C7* оказывают влияние на ширину диапазона срабатывания, на которую необходимо сдвинуть ручку управления на передатчике из ее нейтрального положения, чтобы произошло притягивание якоря реле. Параллельно обмоткам реле включены диоды, которые снимают пики напряжения, появляющиеся при включении реле, и за счет этого предотвращают пробои переключающих транзисторов.

Незначительное изменение по сравнению со схемой на рис. 68 внесено в схему включения потенциометра *R4*, дающего фактическое значение *X* для процесса регулирования. Такое включение потенциометра использовано в сервоэлектронике аппаратуры дистанционного управления *Simprop*. Здесь нет необходимости в двух резисторах (*R1* и *R3*), (см. рис 68), но за счет этого ограничены возможности настройки. Потенциометр обычно включают таким способом в тех случаях, когда он закреплен на плате.

Переключающий усилитель может быть выполнен в двух вариантах. Если потенциометр *R4* должен быть введен в схему в качестве подстроечного регулятора и установлен на плате, то с его помощью можно подстраивать среднюю длительность опорных импульсов. Если канальный импульс длиннее опорного, то остаточный импульс будет положительным и транзистор *T4* открывается. Вследствие этого открывается транзистор *T6* и притягивается якорь реле *P2*. Наоборот, если канальный импульс короче опорного, то остаточный импульс становится отрицательным, открываются транзисторы *T3* и *T5* и притягивается якорь реле *P1*.

При отклонении ручки управления на передатчике от его среднего положения притягивается якорь одного из реле При отклонении ручки управления в противоположном направлении срабатывает другое реле. Таким образом, с помощью переключающего усилителя такого варианта можно довольно удобно управлять ходовым двигателем модели, например, судна, подавая на нее команды «Вперед», «Стоп» и «Назад», включать подъемный механизм или выполнять другие простые функции переключения. Аппаратура пропорционального управления имеет более широкие возможности. В отличие от аппаратуры дискретного дистанционного

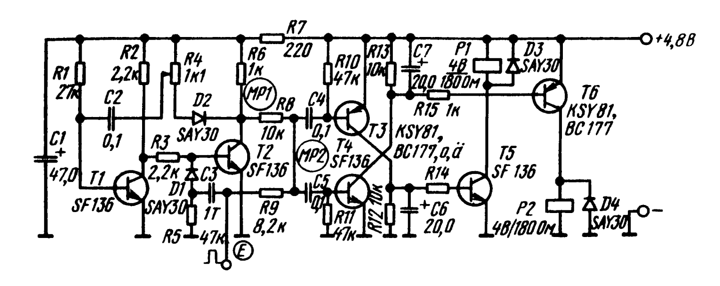
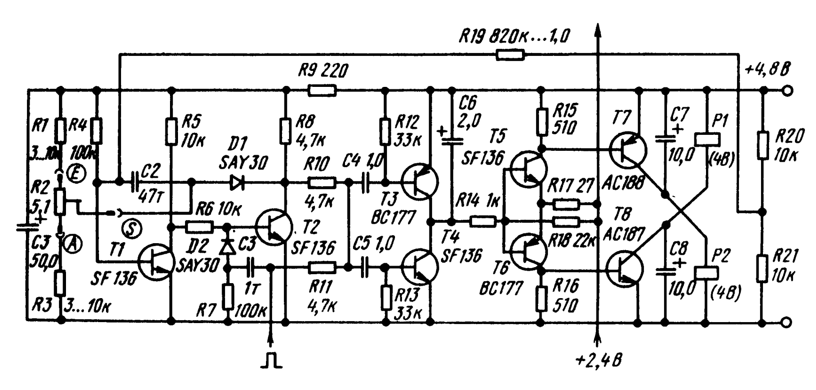


Рис. 84
Переключающий усилитель для парусной лебедки

управления, для которой достаточно выполнения только функций переключения, она может выполнять и функции управления.

Если более длинный путь перекладки при повышенном усилии ее должен быть пропорционален углу отклонения ручки управления на передатчике, то потенциометр *R4* должен быть связан с серводвигателем через редуктор. Но для облегчения настройки делитель напряжения *R1, R2, R3* рекомендуется сохранить таким же, как и на схеме рис. 68 (вместо схемы включения потенциометра *R4,* показанной на рис. 84). Переключающий усилитель (рис. 84) может быть собран при относительно малом количестве схемных элементов, но недостатком его является довольно широкая мертвая зона, из-за которой ухудшается точность управления. Этот недостаток устраняется при использовании сервоусилителя с релейным выходом (рис. 85), одинаково пригодным как для выполнения функций переключения (переключения подъемных механизмов, подачи команд на ходовой двигатель, лебедки и т. д.), так и для выполнения пропорциональных команд при больших

Рис. 85
Сервоэлектроника с релейным выходным каскадом



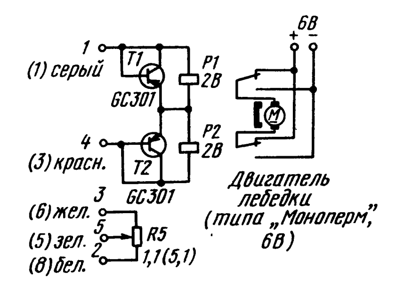


Рис. 86
Дополнительный релейный каскад для сервоэлектроники аппаратуры *Start dp* (в скобках даны обозначения для аппаратуры *Varioprop*)

усилиях (например, при подаче команд на парусную лебедку).

Если в аппаратуре дистанционного управления сервоэлектроника выполнена отдельно от сервомеханизма, то ее можно дополнить выходным релейным каскадом. На рис. 86 показан дополнительный каскад для аппаратуры *Start dp* и *Varioprop*, для которой номера клемм заключены в скобки. Потенциометр *R5* для аппаратуры *Varioprop* должен иметь сопротивление 5 кОм/1 Вт.

В зависимости от того, какое плечо усилителя работает в данный момент, на выводы *1* и *4* сервоусилителя (рис. 72) подается напряжение +2,4 или —2,4 В. Транзисторы *T1* и *T2*, включенные в качестве диодов, предотвращают одновременное притягивание якорей обоих реле. Если вывод *1* имеет положительный потенциал, то транзистор *T1* заперт и якорь реле *P1* притянут, в то время как транзистор *T2* открыт и, следовательно, якорь реле *P2* отпущен. Если же вывод *1* имеет отрицательный потенциал, то транзистор *T1* открыт, *T2* закрыт и якорь реле *P2* притянут. Таким образом, из одного пропорционального канала практически получены два дискретных канала, подобные используемым в аппаратуре дискретного дистанционного управления. Оба реле и потенциометр *R5* (соответствующий потенциометру *R5* на рис. 72) соединяются с сервоэлектроникой с помощью пятиполюсных штекеров, как и исполнительные механизмы.

Для этого переключающего усилителя также возможны два варианта применения. Если потенциометр *R5* включен в схему в качестве подстроечного, то с его помощью можно регулировать длительность опорных импульсов. Тогда остаточный импульс, получаемый в виде суммы опорного и канальных импульсов, может приводить к притягиванию якоря или реле (*P1* или *P2*). Якорь реле остается притянутым до тех пор, пока изменение положения канального потенциометра снова не приведет к уравниванию длительностей канального и опорного импульсов.

При таком варианте переключающего усилителя парусная лебедка работала бы непропорционально и ход выбирания шкота пришлось бы ограничивать с помощью концевого выключателя. Поэтому для использования преимуществ аппаратуры дистанционного управления потенциометр *R5* следует связать с

двигателем лебедки через редуктор. В результате процесс регулирования, осуществляемый с помощью серво-электроники, дополнительного релейного каскада и двигателя, является подобным процессу, осуществляемому с помощью сервомеханизма. Введение реле позволяет подавать на двигатель значительно большую мощность. Этот вариант переключающего усилителя используется в парусных лебедках.

Если отклонением ручки управления изменить длительность канальных импульсов, то якорь одного из реле притянется. Двигатель лебедки будет вращаться до тех пор, пока опорные импульсы, определяемые сопротивлением потенциометра *R5*, не сравняются по длительности с канальными. При этом положение перекладки руля будет пропорционально отклонению ручки управления.

Производя расчет дополнительного релейного каскада, следует иметь в виду, что тип реле определяется током переключения, который должен быть подан на исполнительный механизм. Для снижения высокочастотных помех реле не следует перегружать. Необходимо также снабжать их эффективными помехоподавляющими устройствами. Поэтому для выбора типа реле нужно знать, какие токи необходимо переключать.

Парусные лебедки представляют собой специальные агрегаты, которые должны настраиваться в соответствии с требованиями, различными в каждом конкретном случае. Поэтому моделистам рекомендуется самостоятельно строить эти лебедки, используя готовые редукторы от часов, счетчиков и т. п., а также редукторы самостоятельного изготовления (рис. 87).

Парусная лебедка предназначена для управления парусом модели яхты пропорционально положению ручки управления на передатчике. Как правило, она должна быть рассчитана на выборку или отдачу шкота длиной 150—200 мм. Поскольку парус испытывает также давление ветра, лебедка должна быть самостопорящейся, развивать соответствующее усилие и выбирать или отда-

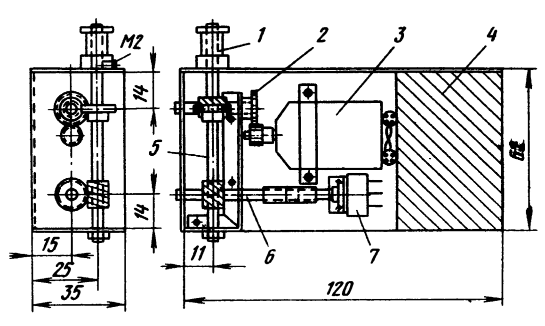


Рис. 87
Парусная лебедка: *1* — тросовый барабан, *2* — промежуточная зубчатая передача, *3* — двигатель, *4* — дополнительный релейный каскад для сервоэлектроники, *5* — основной вал, *6* — вал потенциометра, *7* — потенциометр

вать шкот в течение примерно 5 с.

Через вал с двумя зубчатыми колесами, червячное колесо и основной вал двигатель передает крутящий момент тросовому барабану. Привод потенциометра осуществлен через червячную пару, червяк которой закреплен на основном валу лебедки. Весь редуктор вместе с двигателем и потенциометром смонтирован в алюминиевом корпусе. Тросовый барабан посажен на основной вал снаружи корпуса, благодаря чему он может быть легко заменен другим. Парусная лебедка может быть рассчитана на выборку шкота различной длины путем установки барабана соответствующего диаметра. При сборке необходимо особое внимание обращать на то, чтобы редуктор имел легкий ход, но без люфтов.

Точную юстировку основного вала можно осуществить, если установить его в эксцентриковых втулках подшипников. После юстировки втулки фиксируют эпоксидной смолой.

Изменяя передаточные отношения редуктора, можно производить следующие регулировки:

соответствующим выбором диаметра тросового барабана можно, не меняя времени выборки и усилия на основном валу, изменить длину выборки шкота;

увеличивая передаточное отношение передачи, образованной ведущей шестерней, установленной на валу двигателя, и первым зубчатым колесом передачи на основной вал, можно увеличить усилие на основном валу при той же самой длине выборки шкота;

увеличивая передаточное отношение червячной пары, передающей вращение на потенциометр, можно увеличить длину и время выборки шкота при том же самом усилии на основном валу. Такой же эффект можно получить увеличением гасящего резистора потенциометра;

в определенных пределах можно варьировать время выборки и усилие на основном валу, изменяя рабочее напря-

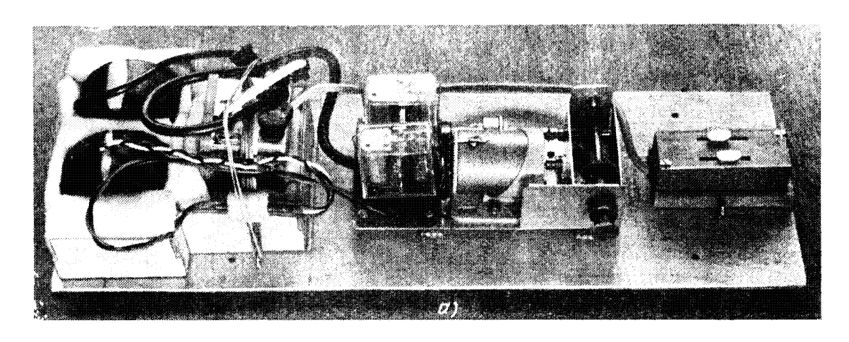
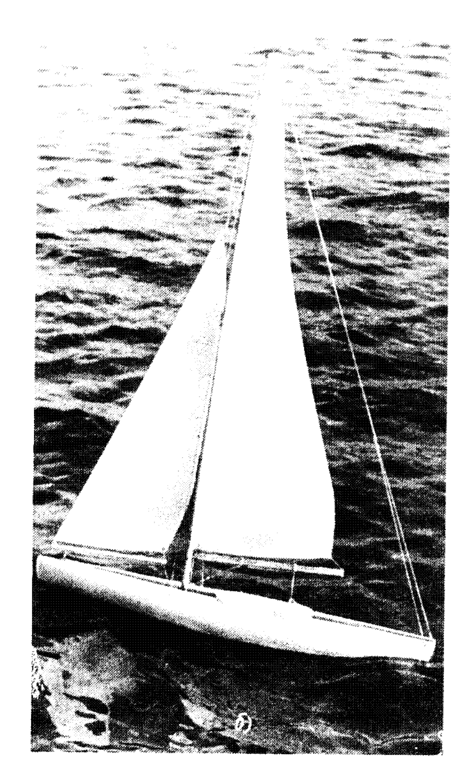
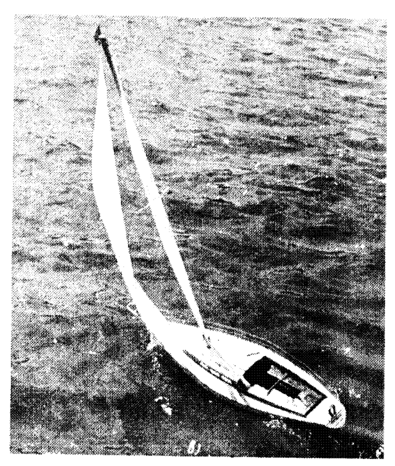
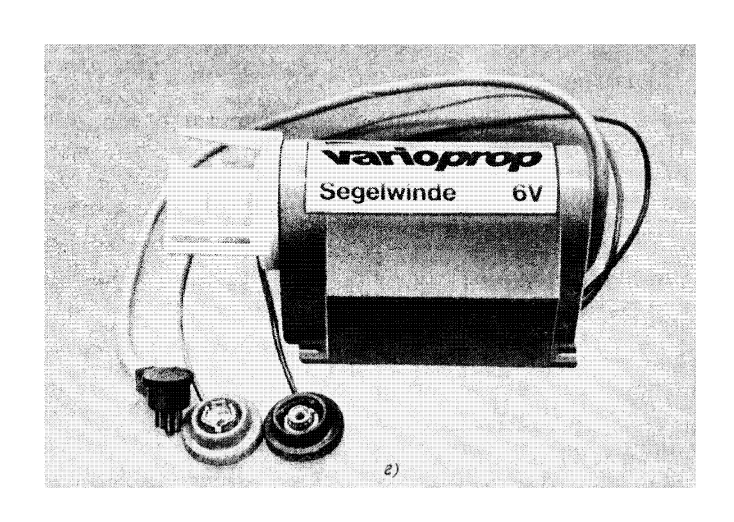

а)

Рис. 88 (см стр 100—101)
Установка парусной лебедки *а* – блок сервомеханизма для модели яхты, *б* радиоуправляемая модель яхты класса *F5M*; *в* радиоуправляемая модель яхты класса *Оптимист*; *г* – парусная лебедка (аппаратура *Varioprop*). Габариты 80×34×
×48 мм, масса 225 г, тяговое усилие 60 Н при выборке шкота длиной 25 см в течение 5 с







жение двигателя или заменяя двигатель одного типа двигателем другого типа.

Для максимального снижения высокочастотных помех двигатель лебедки должен работать при его номинальном напряжении и иметь эффективное помехоподавляющее устройство.

Вместе с сервомеханизмом, электронной схемой и аккумуляторами парусная лебедка установлена на одной раме (рис. 88, *а*). Такая конструкция облегчает установку и снятие всего блока на модели.

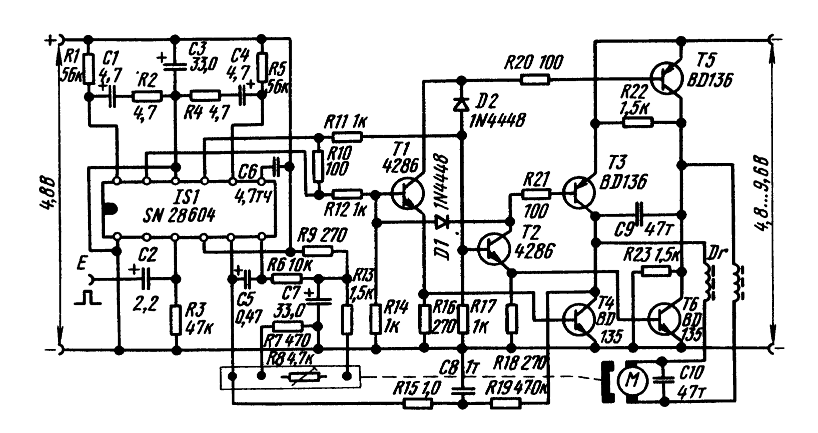
Парусная лебедка всесторонне испытана на модели яхты класса *F5M* (рис. 88, *б*) и даже в тяжелых условиях отвечала всем поставленным требованиям.

Переключающий усилитель может быть использован не только для парусной лебедки, но и для выполнения самых различных функций как при дискретном, так и при пропорциональном управлении моделями: для управления ходовым двигателем, якорной лебедкой, подъемным механизмом, грузовой рампой, спуском судовой шлюпки и т. д.

Различные задачи, стоящие перед переключающими усилителями, требуют и специальных конструкций редукторов. Здесь открыто широкое поле для реализации собственных идей моделистов.

Усилия разработчиков аппаратуры дистанционного управления постоянно направлены на замену реле мощными кремниевыми транзисторами. Правда, реле необходимы там, где нужно раздельно друг от друга подавать напряжение в несколько цепей, т. е. там, где нельзя отказаться от контактных групп. Сервоэлектроника,

Рис. 89
Сервоэлектроника парусной лебедки, выполненная с применением интегральной схемы и имеющая мостовой оконечный каскад (аппаратура *Microprop*)



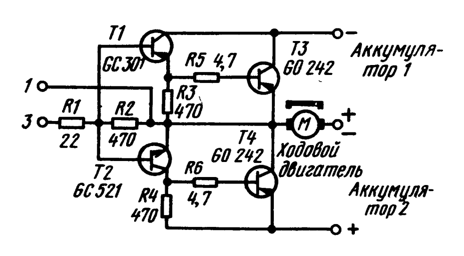
разработанная на базе интегральной схемы типа *SN 28604* и без использования реле, и мостовой выходной каскад аппаратуры дискретного управления, собранный на мощных кремниевых транзисторах и подобный представленному на рис. 26 мостовому каскаду переключения, отличают парусную лебедку аппаратуры дистанционного управления *Microprop* (рис. 89). Интегральная схема типа *SN 28604* установлена так же, как и в схеме для рулевого сервомеханизма, но вместо серводвигателя между выводами *9* и *11* интегральной схемы включен резистор *R10* сопротивлением 100 Ом. В зависимости от направления управления на этом резисторе падает напряжение так, что всегда открыт один из транзисторов *T1* и *T2*, на которых собраны предоконечные каскады, в результате чего выводы *9* и *11* попеременно получают положительный или отрицательный потенциал.

Две пары транзисторов типа *BD 135* и *BD 136* (с максимальной рассеиваемой мощностью $P_{tot}=6{,}5$ Вт) со взаимодополняющими структурами образуют мостовую схему для включения двигателя лебедки, благодаря чему вывод от средней точки батареи не требуется. Как и в обычных схемах сервоэлектроники, демпфирование выполнено с помощью резисторов *R15* (1МОм) и *R19* (470 кОм). Диоды *D1* и *D2* (типа *1N 4448*) развязывают плечи моста таким образом, что открытым может быть всегда только одно из них.

Регуляторы хода

Возможности аппаратуры пропорционального дистанционного управления могут быть использованы для пропорционального управления не только рулевыми устройствами, но и ходовыми двигателями судо- или автомоделей. В настоящее время имеются мощные транзисторы, характеристики которых позволяют с помощью электроники управлять двигателями, потребляющими ток от 10 до 15 А при рабочем напряжении 30 В. Как и в сервоусилителе, но при более высоких токах, принцип усилителя постоянного тока может быть реализован в схеме, в которой двигатель включен между выходом усилителя и средней точкой моста (рис. 90). Вход регулятора хода вместо серводвигателя подключен к сервоэлектронике, схема которой представлена на рис. 68. Потенциометр *R2* заменен подстроечным резистором, с помощью которого можно точ-

Рис. 90
Регулятор хода с двумя транзисторами в оконечном каскаде



нее устанавливать нулевое положение. При установке ручки управления на передатчике в среднее положение мост, собранный на транзисторах *T7* и *T8*, уравновешивается, поэтому между выводами *1* и *2* разность напряжений отсутствует.

Если теперь ручку управления вывести из нейтрального положения, то между этими выводами — в зависимости от направления, в котором отклонена ручка, и величины этого отклонения — появляется положительное или отрицательное напряжение. Положительное напряжение открывает транзисторы *T2* и *T4*. Нижнее плечо моста открывается, и на ходовой двигатель от аккумулятора *2* подается напряжение, величина которого пропорциональна величине отклонения ручки управления на передатчике.

Направление вращения ходового двигателя изменяется, если при отрицательном напряжении на входе открывается верхнее плечо моста и на двигатель подается напряжение от аккумулятора *1*. Чтобы уже при малых отклонениях ручки управления ходовой двигатель не развивал номинальную частоту вращения или номинальный крутящий момент, резисторы *R1* и *R3* должны иметь меньшие сопротивления, чем указано на рис. 68. Сопротивления резисторов *R1* и *R3* определяют по результатам регулировки с подключением движительной установки и в условиях, близких к эксплуатационным. Сопротивления этих резисторов лежат в пределах от 270 Ом до 1 кОм.

При расчете регуляторов хода необходимо принимать во внимание следующее. Для мощных транзисторов *T3* и *T4* максимальный ток и максимальная рассеиваемая мощность ни в коем случае, даже при остановке ходового двигателя торможением, не должны быть превышены. У транзисторов типа *GD 240* максимальный ток коллектора I_{Cmax} составляет 3 А, а максимальная рассеиваемая мощность P_{tot} — 10 Вт. Ходовой двигатель и аккумуляторы для него должны быть выбраны в соответствии с этими характеристиками. Если возможен режим работы двигателя при более высоких значениях I_{Cmax} и P_{tot}, то в качестве транзисторов *T3* и *T4* следует использовать более мощные транзисторы типов:

ASZ15 ($I_{Cmax}=10$ А, $P_{tot}=$ $=22{,}5$ Вт);

GT 806A ($I_{Cmax}=20$ А, $P_{tot}=$ $=30$ Вт);

2NU74 ($I_{Cmax}=15$ А, $P_{tot}=$ $=50$ Вт).

Если в распоряжении имеются транзисторы со взаимодополняющими структурами, то параметры процесса регулирования можно улучшить.

Так как транзисторы *Т3* и *Т4* оконечного каскада должны иметь значительную рассеиваемую мощность, особенно в области частичных нагрузок, повысить ее можно при хорошем охлаждении транзисторов (за счет создания больших охлаждаемых поверхностей, подачи достаточного количества воздуха внутрь модели).

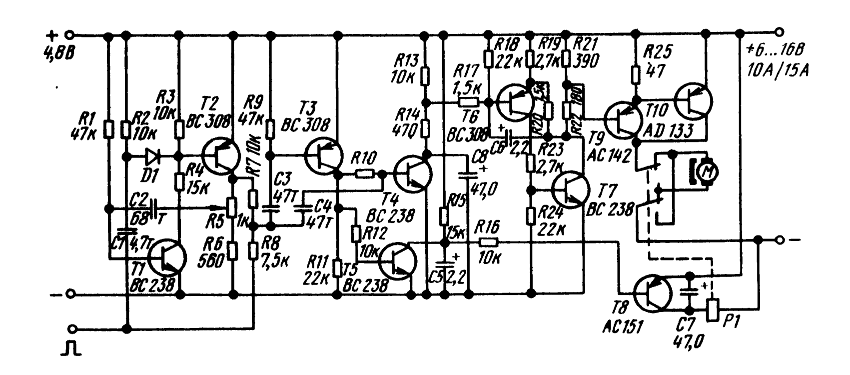
Коллектор или эмиттер мощного транзистора обычно соединен с корпусом. Поэтому при установке транзистора необходимо обеспечивать хорошую изоляцию самого транзистора или его охлаждаемой поверхности. Короткие замыкания недопустимы для транзисторов. Так как в большинстве случаев задний ход дается модели лишь кратковременно и на небольшие расстояния, соответствующее плечо мостовой схемы можно рассчитать на меньшую мощность за счет установки в оконечном каскаде транзисторов с меньшей рассеиваемой мощностью, использования аккумуляторов меньшей емкости и с меньшим напряжением на клеммах.

Цифровая аппаратура дистанционного управления чувствительна к воздействию импульсных помех, поэтому ходовой двигатель оборудуют эффективным помехоподавляющим устройством. Дроссели помехоподавляющего фильтра должны быть рассчитаны на возникающие в нем токи, а провод его обмотки должен иметь достаточное поперечное сечение. Провода между ходовым двигателем, аккумуляторами и регулятором хода, кроме того, делают как можно короче.

Несмотря на удобство и простоту подобного управления ходовым двигателем, схеме, показанной на рис. 90, присущи два недостатка: она требует установки в оконечном каскаде двух мощных транзисторов и двух аккумуляторов, что повышает стоимость регулятора хода.

В схеме, показанной на рис. 91, количество схемных эле-

Рис. 91
Регулятор хода с устройством перемены полярности *Tele-naut*



ментов меньше, чем на рис. 68, за счет использования специальных элементов. В оконечном каскаде ее установлены только один мощный транзистор, одно переключающее реле. Кроме того, здесь необходим только один аккумулятор, поэтому стоимость привода и электронной схемы значительно снижена.

При этом возможности управления не ограничены. Электронная схема выполнена таким образом, что она может быть непосредственно подключена к импульсному блоку приемника и не требует для этого специальных устройств.

Генератор опорных импульсов, собранный на транзисторах *T1* и *T2* со взаимодополняющими структурами, работает как моностабильный мультивибратор. Канальный импульс, поступающий через конденсатор *C1*, опрокидывает этот генератор. Длительность опорного импульса определяется величиной конденсатора обратной связи *C2*, резистора *R1* и положением ползунка потенциометра *R5*. С помощью этого потенциометра можно точно установить среднюю длительность импульсов, равную 1,6 мс.

Каскад сравнения (транзисторы *T3*, *T4* и *T5*) рассчитан на выполнение специальных задач. Канальный и опорный импульсы сравниваются друг с другом, поступая через резисторы *R7* и *R8*. Опорные импульсы имеют постоянную длительность 1,6 мс. Если канальный импульс длиннее 1,6 мс, то в точке сравнения образуется положительный остаточный импульс. Его длительность пропорциональна углу отклонения ручки управления на передатчике и может составлять от 0 до 0,6 мс. Это же справедливо для случая, когда при приходе в точку сравнения канального импульса, длительность которого меньше 1,6 мс, образуется отрицательный канальный импульс.

Если остаточный импульс не образуется, т. е. длительность его равна нулю, то на транзистор *T3* через резистор *R9* подается положительное напряжение смещения, а на транзистор *T4* через *R10* и *R11* — отрицательное. Поэтому оба эти транзистора заперты. Отрицательный остаточный импульс открывает транзистор *T3*. Благодаря этому его коллектор получает потенциал, почти равный потенциалу положительного полюса источника питания и через резистор *R10* открывающий также и транзистор *T4*. На коллекторе транзистора *T4* появляется усиленный остаточный импульс, преобразуемый конденсатором *C8* в слабо пульсирующее постоянное напряжение. Величина среднего постоянного напряжения пропорциональна длительности остаточного импульса.

Если же этот импульс в точке сравнения принимает положительное значение, то он открывает транзистор *T4*, не изменяя состояние транзистора *T3*. В результате на коллекторе транзистора *T4* также образуется пульсирующее постоянное напряжение, средняя ве-

личина которого пропорциональна длительности остаточного импульса. Следовательно, при таком включении транзисторов *Т3* и *Т4* на зарядный конденсатор *С8* поступает постоянное напряжение, величина которого пропорциональна углу отклонения ручки управления на передатчике, независимо от того, в ту или иную сторону отклоняется ручка.

Управление работой мультивибратора (собранного на транзисторах *Т6* и *Т7)* производится постоянным напряжением, пропорциональным углу отклонения ручки управления и поступающим на коллектор транзистора *Т4.* Этот мультивибратор работает в качестве задающего генератора для оконечного каскада регулятора хода. Его задачей является преобразование изменяемых по длительности (в пределах от 0 до 0,6 мс) остаточных импульсов, повторяющихся через каждые 20—25 мс, в одну последовательность импульсов с коэффициентом заполнения, наиболее благоприятным для управления оконечным каскадом.

С помощью подачи на коллектор транзистора *Т4* изменяемого постоянного напряжения транзистором *Т6* управляют (через резисторы *R13, R14* и *R17)* таким образом, что длительность импульсов, поступающих от генератора, может быть изменена в пределах от нуля до ее максимального значения.

Оконечный каскад, собранный на транзисторах *Т9* и *Т10,* работает как допускающий большую нагрузку усилитель Дарлингтона и представляет собой регулируемый гасящий резистор, установленный перед ходовым двигателем. Источник питания подключается к этому двигателю и отключается от него оконечным каскадом в такт с приходом импульсов задающего генератора. Оконечный каскад рассчитан на средний ток 10 А, но кратковременно может работать и при прохождении пикового тока 15 А. Величина пикового тока определяется значением I_{Cmax} транзистора *Т10,* в то время как средний допустимый рабочий ток, равный 10 А, зависит от величины эффективно охлаждаемой поверхности и подачи охлаждаемого воздуха. Чтобы транзистор *Т10* оконечного каскада — самый дорогой схемный элемент всего устройства — не вышел из строя при длительной перегрузке, двигатель следует защитить предохранителем, рассчитанным на 10 А. Правда, предохранитель не защищает от кратковременных пиковых токов, превышающих 15 А. Пробой запирающего слоя транзистора произойдет быстрее, чем сработает самый быстродействующий предохранитель.

Так как для этого регулятора хода необходим только один аккумулятор, полярность включения ходового двигателя необходимо менять для хода вперед и назад. Эту задачу выполняют транзисторы *Т5, Т8* и реле *Р1.* Транзистор *Т5* подключен к коллектору транзистора *Т3* через резистор *R12* и

открывается при приходе каждого отрицательного остаточного импульса. Зарядный конденсатор *C5* сглаживает постоянное напряжение на коллекторе транзистора *T5*, которое затем через резистор *R16* управляет работой переключающего транзистора *T8*.

Если транзистор *T5* открыт отрицательным остаточным импульсом, то транзистор *T8* также открыт, так как эти транзисторы имеют взаимодополняющие структуры. Якорь реле притягивается, и полярность включения ходового двигателя изменяется. Конденсатор *C7* уменьшает остаточную пульсацию тока, протекающего через обмотку реле, обеспечивая ему надежные характеристики переключения. Двигатель должен быть включен так, чтобы при отпущенном якоре реле он обеспечивал ход «Вперед», а при притянутом — ход «Назад». При почти разряженных аккумуляторах модель на малом ходу все-таки сможет подойти к моделисту, даже если якорь реле и не может быть больше притянут.

Положительным здесь является то, что изменение полярности включения ходового двигателя модели производится в положении «Стоп». Так как управление транзистором *T5* через резистор *R12* производится более эффективно, чем управление транзистором *T4* через резистор *R10*, двигатель успевает переключиться до начала его работы на задний ход.

Изменение полярности ходового двигателя при нулевом токе приводит к тому, что при переключении искрение отсутствует и поэтому дорогое помехоподавляющее устройство становится излишним. Кроме того, контакты реле испытывают меньшую нагрузку и меньше изнашиваются (обгорают). В отношении конструкции этого регулятора хода справедливы общие указания, перечисленные при описании схемы, показанной на рис. 90 (сборка с применением изоляции и хорошее охлаждение транзистора *T10*, короткие проводники с достаточным поперечным сечением, эффективное помехоподавляющее устройство для двигателя и абсолютное предотвращение превышения I_{Cmax} транзистора *T10*).

Дальнейшее развитие регуляторов хода идет по пути использования интегральных схем. В регуляторе хода, показанном на рис. 92, применены две обычные интегральные схемы типа *SN 7400N* и одна специальная интегральная схема. Это позволило реализовать функции, выполняемые схемой рис. 91 при значительно меньшей стоимости и при большей надежности.

Возможно и усовершенствование этой схемы, так как специальная интегральная схема типа *MT 106 T* может быть дополнена схемой, в которой использованы обычные кремниевые транзисторы. Вентильная схема *G 2* преобразует положительный канальный импульс в отрицательный. Этот отрицательный импульс посту-

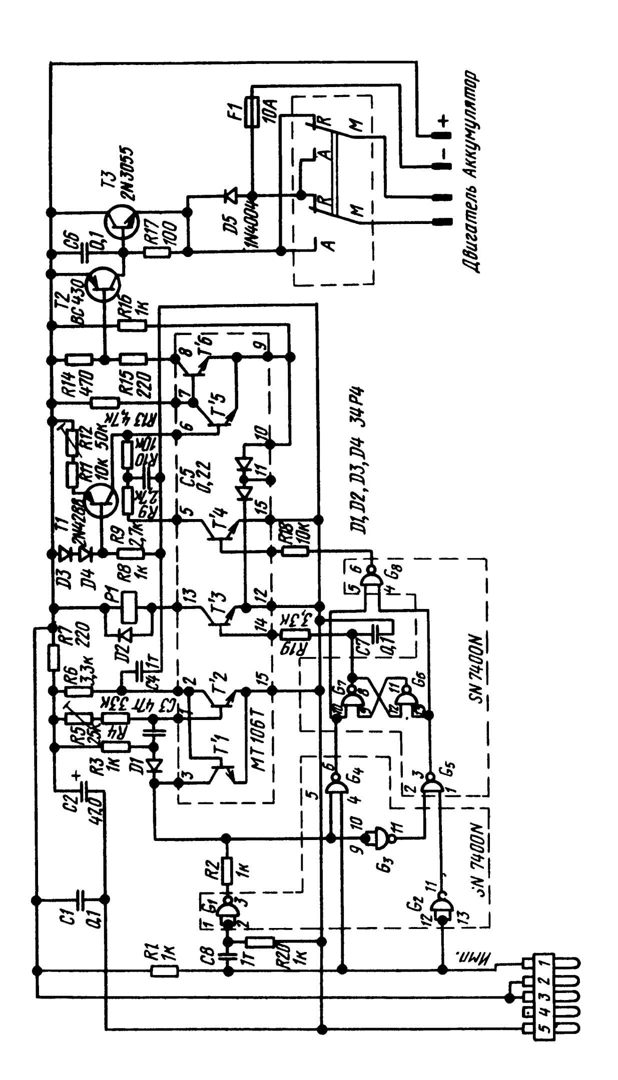


Рис. 92
Регулятор хода, выполненный с применением интегральных схем и устройства перемены полярности (аппаратура *Multiplex*)

пает затем на вывод *1* схемы *G5*. Далее входной импульс дифференцируется цепочкой *C8*, *R20* и остроконечный импульс получает отрицательную полярность, проходя через вентильную схему *G1*. Положительный остроконечный импульс опрокидывает генератор опорных импульсов, собранный на транзисторах *T1* и *T2*, время опрокидывания которого с помощью потенциометра *R5* может быть точно настроено на среднюю длительность импульсов.

Отрицательный опорный и положительный канальный импульсы одновременно поступают на входы *4* и *5* вентильной

схемы *G4*. Если канальный импульс длиннее опорного, то на вывод 6 схемы *G4* приходит отрицательный остаточный импульс. Если же канальный импульс короче опорного, то, поступая на входы *1* и *2* вентильной схемы *G5*, на выходе *3* ее также образуется отрицательный остаточный импульс.

Таким образом, независимо от того, длиннее или короче канальный импульс опорного, на входе вентильной схемы *G6* всегда появляется отрицательный остаточный импульс, пропорциональный углу отклонения ручки управления на передатчике и появляющийся на выходе *6* схемы *G8* в виде положительного управляющего импульса. Этот импульс в большей или меньшей степени открывает транзистор *T4*, и конденсатор *C5* в такой же степени заряжается током, проходящим через этот транзистор. Конденсатор *C5* растягивает остаточный импульс. В случае прихода остаточного импульса средней длительности (ручка управления наполовину отклонена от нейтрального положения) *C5* заряжается через транзистор *T4* лишь частично. Благодаря этому транзистор *T5* заперт в течение определенного времени, а транзисторы *T6* и *T2* в течение этого времени открыты.

Необходимое растяжение импульса устанавливается с помощью потенциометра *R12*. На двигатель при этом подается прерывистый постоянный ток. Импульсы постоянного тока тем длиннее после их растяжения, чем длиннее был остаточный импульс, поступивший на конденсатор *C8*. Если остаточный импульс имеет максимальную длительность, то через транзистор *T3* течет постоянный ток без пульсаций. Если же длительности канального и опорного импульсов одинаковы, то ни на вывод *5*, ни на вывод *4* вентильной схемы *G8* остаточный импульс не поступает. При этом транзистор *T4* заперт и конденсатор *C5* может полностью положительно зарядиться через резисторы *R11*, *R12* и транзистор *T1*. Благодаря этому транзистор *T6* открывается, а транзисторы *T8*, *T2* и *T3* запираются и через двигатель ток идти не может. Независимо от того, в какую сторону отклонена ручка управления на передатчике от своего среднего положения, двигатель включается импульсами пропорционального тока, имеющими одну и ту же полярность.

Как же в этом случае производится изменение направления вращения двигателя на передний и задний ход? Вентильные схемы *G6* и *G7* включены по схеме *RS* — триггера. Этот триггер опрокидывается только тогда, когда опорный импульс переходит от вывода *10* к выводу *13* или наоборот, т. е. тогда, когда ручка управления на передатчике проходит через свое нейтральное положение. Триггер управляет работой транзистора *T3*, в коллекторной цепи которого включено переключающее реле. Смену импульсов между выводами *10* и *13* триггер производит в соотношении 2:1.

Притяжение якоря реле производится всегда только при второй смене импульсов. Следовательно, это происходит при смене команды «Вперед» на команду «Назад». В результате полярность напряжения, подаваемого на двигатель, изменяется. При смене команды «Назад» на команду «Вперед» якорь реле снова отпускается и остается в таком состоянии до тех пор, пока ручка управления отклонена в положение «Вперед». Остаточные импульсы, подаваемые на соответствующий вход триггера при положении ручки управления «Вперед» не изменяют это состояние включения. Сначала триггер только опрокидывается и этим подготавливает реле к притягиванию якоря, которое происходит при поступлении на другой вход триггера одного или нескольких импульсов. Большим преимуществом этой схемы является то, что изменение полярности напряжения производится при отсутствии напряжения на двигателе. Благодаря этому нет необходимости в помехоподавляющем устройстве и контакты работают в «щадящем» режиме.

В схеме регулятора хода аппаратуры дистанционного управления *Microprop,* как и в усилителе парусной лебедки, использована интегральная схема типа *SN 28604* (рис. 93). Верхнее плечо схемы управляет работой реле переключения полярности напряжения для ходового двигателя. В состоянии покоя все транзисторы этого плеча заперты и якорь реле отпущен. Якорь реле притягивается, и напряжение, подаваемое на двигатель, изменяет полярность только тогда, когда на вывод *11* интегральной схемы подается положительное напряжение.

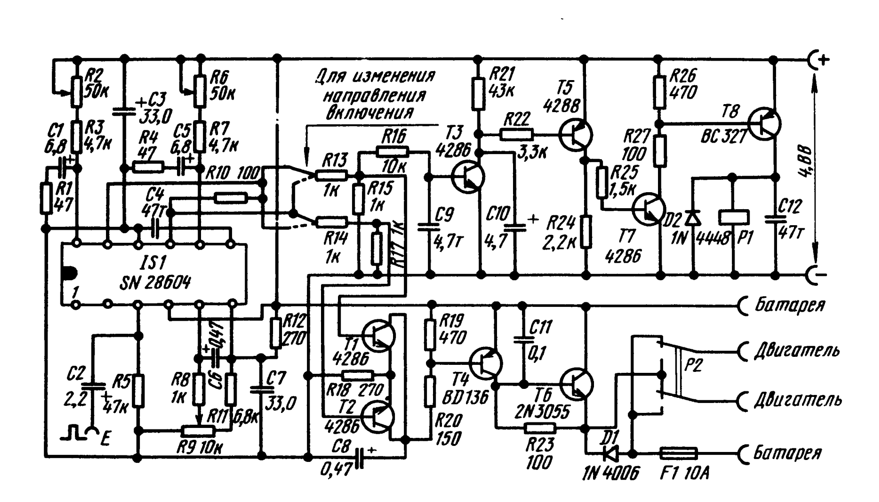


Рис. 93
Регулятор хода, выполненный с применением интегральной схемы и устройства перемены полярности (аппаратура *Microprop*)

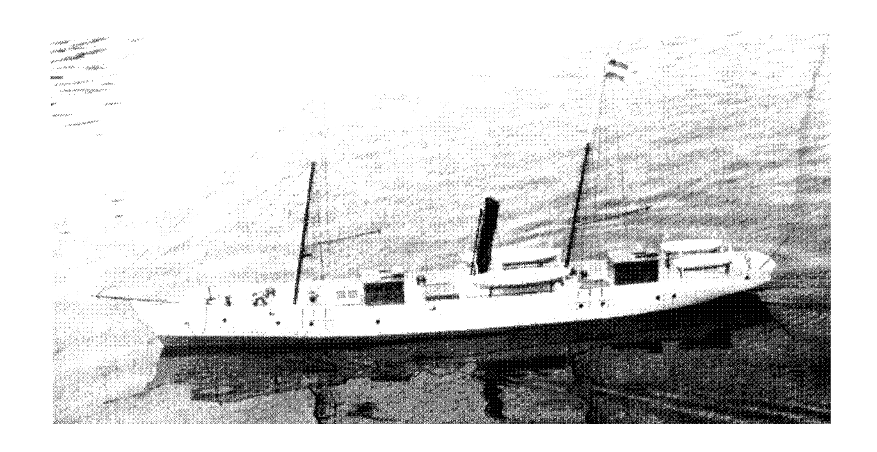


Рис. 94
Модель паровой яхты (1910 г)

Точка притягивания якоря реле может быть точно подстроена с помощью резистора *R9* сопротивлением 10 кОм. В нижнем плече схемы транзисторы *T1* и *T2* (типа *4286*) включены параллельно и через резисторы *R13* и *R14* сопротивлением 1 кОм подключены к выводам *9* и *11* интегральной схемы. Благодаря этому нижнее плечо схемы всегда открыто, независимо от того, где положительный потенциал — на выводе *9* или *11*. Транзисторы *T1* и *T2* управляют работой транзистора *T4* (типа *BD 136*) предоконечного каскада, а тот, в свою очередь,— транзистором (типа *2N 3055*) оконечного каскада, изменяющим напряжение до 24 В при токе 10 А и смонтированным на корпусе регулятора хода, который одновременно играет роль поверхности охлаждения. Направление включения регулятора хода изменяют, переключив выводы *9* и *11* на интегральной схеме.

Основными областями применения регуляторов хода являются системы управления ходовыми двигателями на авто- и судомоделях (рис. 94).

Регулятор хода — приставка к сервомеханизму

Возможности использования имеющегося сервомеханизма могут быть значительно расширены с помощью простой приставки к нему. Например, с помощью дополнительного релейного каскада, подключаемого к сервоусилителю (см. рис. 86), сервоэлектроника может управлять повышенными мощностями (например, необходимыми для парусной лебедки). С помощью другого дополнительного каскада сервомеханизму можно придать способность плавно регулировать частоту вращения или крутящий момент ходового двигателя модели.

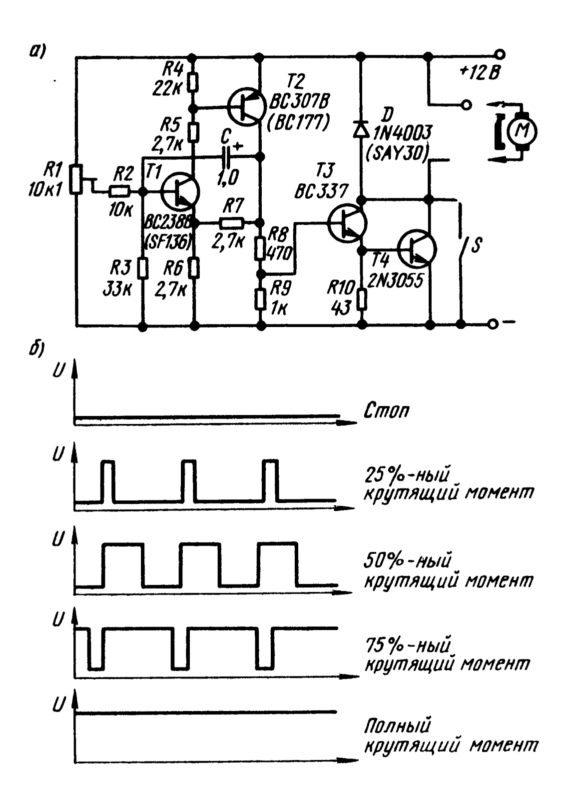


Рис. 95
Регулятор хода *Servofly* (дополнительный каскад для сервомеханизма): *а* — принципиальная схема; *б* — диаграммы напряжения на клеммах двигателя при различных крутящих моментах

Функциональными группами такого регулятора хода (рис. 95) являются автоколебательный мультивибратор (собранный на транзисторах *T1* и *T2*) и каскад усилителя мощности (собранный на транзисторах *T3* и *T4*). Управляющий ползун или управляющий диск сервомеханизма через механическую связь (например, через тягу, трос Боудена и т. д.) изменяют положение ползунка потенциометра *R1*. Самым простым решением является здесь применение в качестве потенциометра *R1* плоского переменного резистора, которым регулируют длительность такта автоколебательного мультивибратора.

С помощью растяжения диапазона регулирования потенциометра *R1* мультивибратор можно точно настроить на путь перекладки, обеспечиваемый сервомеханизмом. Это делают таким образом, чтобы мультивибратор прекращал работу в одном из крайних положений сервомеханизма (транзисторы *T1*, *T2* запираются и, следовательно, запираются также транзисторы *T3*, *T4*). При этом ток через ходовой двигатель не идет, что соответствует команде «Стоп».

В другом крайнем положении сервомеханизма транзисторы *T1* и *T2* открыты, следовательно, полностью открыты также транзисторы *T3* и *T4*. Это соответствует команде «Полный вперед». Чтобы при этой команде можно было использовать для ходового двигателя полное напряжение батареи, падение напряжения на транзисторе *T4* предотвращают включением переключателя *S*. Этот переключатель должен представлять собой микро- или мгновенный переключатель, рассчитанный на большую нагрузку и включаемый только перед достижением сервомеханизмом крайнего положения (для этого необходимо использовать рычаг подстройки на передатчике).

В пределах между состояниями «заперты» и «полностью открыты» транзисторы *T1* и *T2* работают в качестве автоколебательного мультивибратора. Длительность генерируемых ими импульсов зависит от положения ползунка потенциометра *R1* (рис. 95, *б*). Импульсы, длительность которых можно плавно изменять, через транзистор *T3* управляют работой мощного транзистора *T4* и, таким образом, изменением тока двигателя. Благодаря этому можно плавно изменять частоту вращения или крутящий момент ходового двигателя в пределах от нуля до их максимальных значений. Пульсирующий постоянный ток, от которого работает двигатель, лучше чем постоянный ток без пульсаций обеспечивает его разгон на малых скоростях и создает меньшую тепловую нагрузку на транзистор *T4* оконечного каскада.

Транзистор *T4* должен хорошо охлаждаться даже при использовании переключателя скорости *S*, так как при частичных нагрузках тепловые потери больше, чем при полной нагрузке.

4. Передача команд

4.1. Общие положения

В основе дистанционного управления моделями лежит беспроводная передача команд, которая позволяет модели свободно передвигаться независимо от места расположения моделиста. Для беспроводной передачи команд пригодны физические поля всех типов, с помощью которых можно передавать информацию. Однако граничные условия, определяемые требованиями к управлению моделями на расстоянии, например, возможность передачи команд с достаточной надежностью на расстояние около 1000 м при приемлемой стоимости аппаратуры, исключают использование некоторых методов.

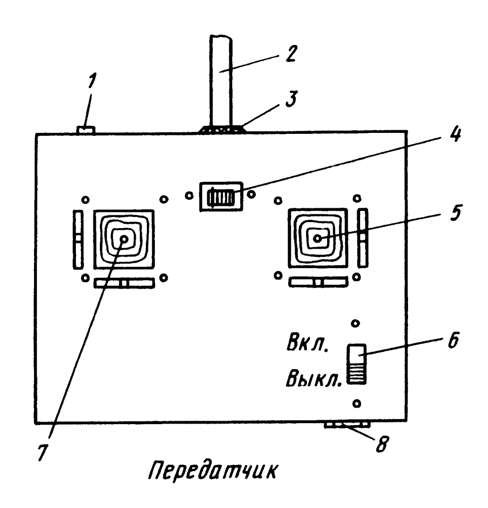
В реальных условиях можно использовать лишь передачу команд с помощью высокочастотных электромагнитных волн в пределах полосы частот, разрешенной законом. О трудностях, возникающих при этом, сказано в разделе 2.3.

Другие методы передачи, такие как использование магнитного поля, светового или ультразвукового излучения, из-за своей малой надежности и небольшой дальности действия применяют лишь в отдельных случаях. Но для проведения некоторых экспериментов в области малых дальностей (порядка 10 м) эти методы представляют определенный интерес. Передача команд с помощью ультразвука нашла широкое применение для управления телевизионными приемниками на расстоянии.

Далее особенно подробно рассмотрен метод передачи команд с помощью электромагнитных волн, который хорошо разработан промышленностью и любителями и в настоящее время достиг высокого уровня развития. Некоторые варианты схем кодирующих устройств и отдельные узлы передатчиков практически стали стандартными.

4.2. Передача команд с помощью высокой частоты

Комплект аппаратуры дистанционного управления состоит из передатчика и установленных на модели приемника, батареи и исполнительных механизмов (рис. 96). Электронную схему передатчика (импульсный и высокочастотный блоки) вместе с батареей и датчиками команд (ручками управления) размещают в компактном кор-



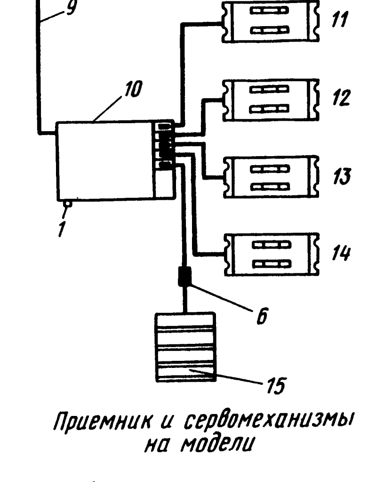


Рис. 96
Комплект аппаратуры дистанционного управления моделями. *1* — кварцевый резонатор, *2* — антенна длиной 1,4 м, *3* — гнездо для установки антенны, *4* — индикатор, *5* — ручка управления, каналы *1* и *3*, *6* — выключатель, *7* — ручка управления, каналы *2* и *4*, *8* — зарядная фишка, *9* — антенна длиной 1 м, *10* — супергетеродинный приемник, *11* — сервомеханизм *1*, *12* — сервомеханизм *2*, *13* сервомеханизм *3*, *14* — сервомеханизм *4*, *15* — два аккумулятора 2,4 В

пусе, который можно держать в руках. Мощность высокочастотного блока передатчика с нескольких десятков мВт в начале 60-х годов (при использовании германиевых транзисторов) в аппаратуре дискретного дистанционного управления к 1974 г. возросла для аппаратуры пропорционального управления примерно до 1 Вт. Повышение мощности передатчика стало возможным за счет разработки соответствующих кремниевых транзисторов. Передатчики повышенной мощности стали необходимыми для обеспечивания повышенной помехозащищенности (благодаря высокому отношению сигнал/помеха). Но мощный передатчик требует и батареи соответствующей емкости и может работать в течение лишь относительно короткого времени (например, никелево-кадмиевый аккумулятор емкостью 500 мА · ч позволяет работать с таким передатчиком примерно 2 ч).

Все большее увеличение мощности передатчика и малая полоса пропускания цифровой аппаратуры приводят к замене сверхрегенеративных приемников узкополосными супергетеродинными приемниками. Практика моделизма потребовала обеспечения одновременной работы нескольких комплектов аппаратуры дистанционного управления, так как в распоряжении имеется не так много водных поверхностей или пригодных для запуска авиамоделей площадок (откосов, лугов), чтобы на каждой из них мог работать с

радиоаппаратурой только один моделист. К тому же, очень интересны соревнования, в которых участвуют сразу несколько моделей. Некоторые соревнования моделей, например, парусные регаты, вообще проводятся только с использованием супергетеродинных приемников.

Однако сверхрегенеративные приемники благодаря простоте конструкции, высокой эксплуатационной надежности и малой цене еще долго не будут сданы в архив. Многие моделисты делают свои первые шаги в радиоуправлении моделями, применяя сверхрегенеративные приемники, поэтому они здесь также рассмотрены.

4.2.1. Высокочастотный блок передатчика

Высокочастотный блок передатчика состоит из следующих функциональных групп: генератора высокой частоты, усилителя высокой частоты и модулятора (рис. 97). Подробно работу каждой из этих групп следует рассмотреть на примерах оправдавших себя на практике схем. Высокочастотный блок передатчика, как правило, объединяют со схемой кодирующего устройства, варианты которого рассмотрены в разделе 3.

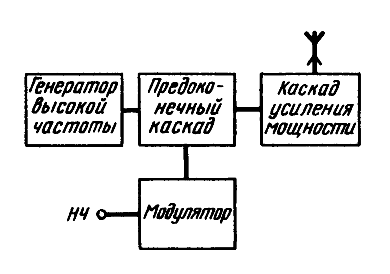


Рис. 97
Блок-схема высокочастотного блока передатчика

Использование рабочей частоты 433 МГц побуждает моделистов к самостоятельным разработкам схем. Для работы на этой частоте к настоящему времени (1975 г.) выпущена только одна производимая серийно аппаратура дистанционного управления (см. раздел 8.1.5). Для аппаратуры, предназначенной для работы на частоте 13,56 МГц, могут быть использованы все схемы, предназначенные для работы на частоте 27,12 МГц, при соответствующем изменении номиналов схемных элементов.

4.2.1.1. Генератор высокой частоты

Задачей генератора высокой частоты является генерирование высокочастотных колебаний, частота которых соответствует данным табл. 2 или 3 и имеет необходимую стабильность.

Для расчета стабильного генератора высокой частоты справедливы указания, перечисленные в отношении генераторов низкой частоты (см. раздел 3). И лишь характеристики схемных элементов, особенно транзисторов, приводят к другим, чем для генераторов низкой частоты, схемным решениям.

Решающее значение для генератора свободных колеба-

ний, установленного в передатчике аппаратуры дистанционного управления, имеет стабильность частоты. Поэтому при разработке таких генераторов необходимо знать факторы, оказывающие влияние на стабильность. Это важно, во-первых, для исключения ошибок при самостоятельной разработке аппаратуры дистанционного управления и, во-вторых, для обеспечения правильности ремонта и обслуживания аппаратуры.

Генератор высокой частоты передатчика или приемника должен работать в течение длительного времени при различных температурах окружающей среды (от -10 до $+40°C$), различных влажностях воздуха и различных напряжениях питания, обеспечивая высокую стабильность частоты $\Delta f/f$, которая должна сохраняться в пределах от 10^{-4} до 10^{-5}. На стабильность работы генератора высокой частоты оказывают влияние изменения параметров транзисторов и схемных элементов, особенно параметров элементов колебательного контура.

Изменение частоты может быть вызвано изменением параметров транзистора при колебаниях напряжения питания и температуры. В зависимости от схемы емкости участков коллектор-база и база-эмиттер включены параллельно или последовательно колебательному контуру. Емкости в большой мере зависят от напряжения питания и, следовательно, от положения рабочей точки. Поэтому схему выполняют так, чтобы их влияние на колебательный контур было по возможности малым, а их изменение удерживалось в узких границах за счет хорошей стабилизации рабочей точки и напряжения питания.

Предельная частота для транзистора высокой частоты должна быть в 5—10 раз больше частоты колебаний. Влияние температуры на транзистор можно эффективно компенсировать за счет хорошей стабилизации рабочей точки (фиксация напряжения смещения базы, более высокое сопротивление эмиттера).

Чтобы уменьшить внутренний нагрев транзистора, устанавливают режим его работы с малой рассеиваемой мощностью. В передатчике аппаратуры дистанционного управления токи коллектора обычно составляют от 5 до 10 мА, причем кремниевые транзисторы благодаря их большей температурной стабильности при работе в генераторах предпочтительнее германиевых. Нагрузку генератора поддерживают малой, применяя слабую связь с последующим каскадом усиления.

Для получения более высоких мощностей передатчика (от 0,5 до 1 Вт) обычно предусматривают предоконечный каскад. Влияние температуры на элементы колебательного контура снижают посредством жесткой конструкции, предотвращающей тепловое расширение катушки, и схемных элементов, имеющих соответствующие температурные коэффициенты.

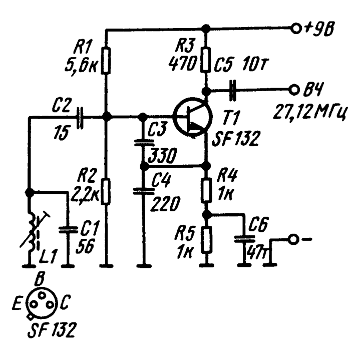


Рис. 98
LC-генератор. Катушка *L1* диаметром 7 мм, с подстроечником, имеет 15 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,5 мм

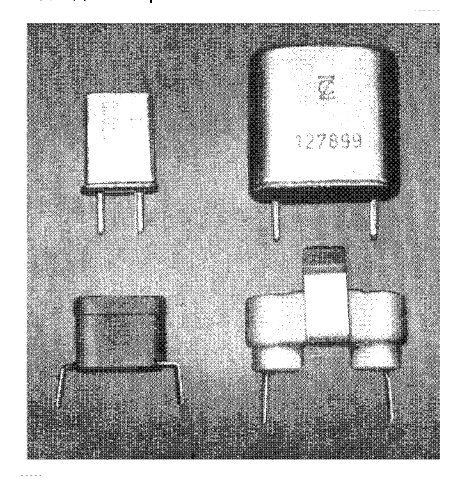


Рис. 99
Кварцевый резонатор *HC-6/U* и сверхминиатюрный резонатор *HC-25/U* в металлических корпусах

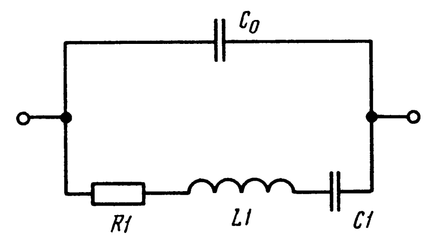


Рис. 100
Эквивалентная схема кварцевого резонатора

При тщательном выборе и расчете катушек и конденсаторов (стабильных по своим характеристикам катушек с воздушным сердечником, керамических конденсаторов, имеющих малые температурные коэффициенты, или конденсаторов с воздушным диэлектриком) могут быть разработаны генераторы высокой частоты, стабильность частоты которых удовлетворяет требованиям, предъявляемым к аппаратуре управления моделями на расстоянии. Стабильность частоты тем лучше, чем больше добротность колебательного контура и катушки. Для защиты от внешних влияний *LC*-генератор устанавливают в закрытый со всех сторон корпус.

Схема *LC*-генератора, разработанного с учетом этих требований, представлена на рис. 98. Этот генератор пригоден для проведения простых экспериментов и для постройки несложных передатчиков. При правильном конструировании генератора можно достичь стабильности частоты $\Delta f/f \approx 10^{-3}$.

Если необходима более высокая стабильность частоты, то в качестве задающего частоту элемента применяют кварцевый резонатор. Одновременная работа нескольких комплектов аппаратуры в полосе частот 27,12 МГц (см. табл. 2 и 3) требует для этой аппаратуры не только стабильности частоты $\Delta f/f$ порядка 10^{-5}, но и возможности простой смены высокочастотных каналов. Эти требования могут быть выполнены только при использовании генератора высокой частоты,

стабилизированного кварцем. Поэтому такие генераторы получили широкое распространение в аппаратуре дистанционного управления моделями. Внешний вид кварцевых резонаторов, смонтированных в металлических корпусах, показан на рис. 99.

Характеристики кварцевого резонатора соответствуют характеристикам электрического резонансного контура, имеющего очень высокую добротность Q (от 10^4 до 10^6). Эквивалентная схема для кварцевого резонатора представлена на рис. 100. $L1$ (большая индуктивность) и $C1$ (соответственно малая емкость) образуют последовательный колебательный контур с сопротивлением потерь $R1$. C_0 — емкость корпуса кварца. Такая эквивалентная схема имеет две резонансные точки: точку резонанса последовательного контура

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1 \cdot C1}} \qquad (18)$$

и точку резонанса параллельного контура

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1\frac{C1 \cdot C_0}{C1 + C_0}}}. \qquad (19)$$

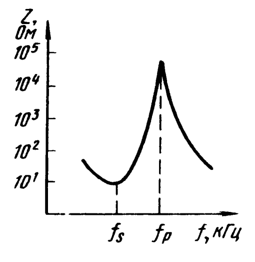


Рис. 101. Изменение полного сопротивления кварцевого резонатора

Эти резонансные частоты связаны соотношением

$$f_p \approx f_s \cdot \left(1 + \frac{C1}{2 \cdot C_0}\right). \qquad (20)$$

При резонансе параллельного резонансного контура полное сопротивление максимально, при резонансе последовательного резонансного контура — минимально (рис. 101). Обе резонансные точки используются для стабилизации частоты в схемах генераторов.

Чтобы полностью использовать стабилизирующую способность кварца, схему выполняют таким образом, чтобы емкости монтажа, паразитные емкости и емкости транзисторов оказывали меньшее влияние на полное сопротивление кварца. Посредством подключения (последовательного или параллельного) емкостей к кварцу номинальную частоту его можно «затягивать» на определенную величину. Это «затягивание» частоты колебаний используют для частотной модуляции передатчика. Затянутая частота f_0 кварцевого стабилизатора при параллельно включенных емкостях CP и C_0 определяется выражением:

$$f_0 \approx f_p \cdot \left(1 + \frac{C1}{2 \cdot (C_0 + CP)}\right). \qquad (21)$$

Для затянутого кварца имеет место $f_p \approx f_s$, так как за счет затягивания обе резонансные точки очень сближаются. При параллельном резонансе кварцевые резонаторы для основной частоты применяют в основном в диапазоне от 100 до 20 000 кГц. Для частот от 20 до

50 МГц изготавливают только кварцевые резонаторы высших гармоник, обычно на третью гармонику.

Кварцевые резонаторы высших гармоник в большинстве случаев работают при последовательном резонансе. Расчет схемы, работающей при последовательном резонансе, достаточно сложен. Схема такого типа мало зависит от внешних влияний и обеспечивает высокую стабилизацию частоты. Настроенный колебательный контур в схеме генератора, стабилизированного кварцем, обеспечивает надежное подавление побочных частот и частот помех, увеличение области затягивания кварца и повышенную надежность колебаний кварца.

Схема генератора (рис. 102), стабилизированного кварцем, является в определенной мере стандартной для аппаратуры

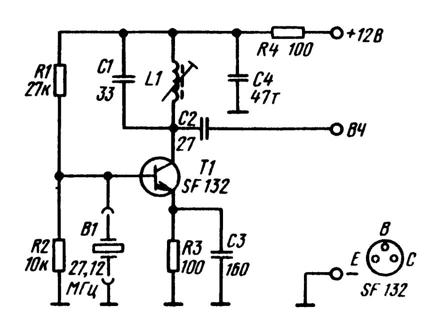


Рис. 102
Генератор высокой частоты 27,12 МГц, стабилизированный кварцем, включенным между коллектором и базой транзистора. Катушка *L1* диаметром 7 мм, с подстроечником, имеет 13 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,5 мм

дистанционного управления моделями. Благодаря высокой надежности колебаний, высокому КПД, температурной стабильности и небольшому количеству схемных элементов она нашла применение почти во всех схемах передатчиков.

Чтобы генератор одинаково хорошо работал на всех двенадцати каналах передачи (см. табл. 9), колебательный контур *L1, C2* должен быть достаточно широкополосным и иметь возможность настройки на середину полосы. Рабочая точка определяется сопротивлениями резисторов *R1* и *R2*, причем ток, проходящий через делитель напряжения, должен оставаться около $10 \cdot I_в$. Температурную стабилизацию рабочей точки обеспечивает цепь коллектора *R3, C4*

Максимально достижимая с помощью генератора мощность ограничена величиной тока высокой частоты, проходящего через кварц Слишком большой ток высокой частоты нагревает кристалл, что отрицательно сказывается на стабильности частоты. Поэтому генератор следует рассчитывать по возможности на малую выходную мощность (но при высокой надежности колебаний) и на работу при сниженном напряжении питания.

Требуемую выходную мощность получают в последующих каскадах усиления. Параметры транзистора должны лишь минимально влиять на колебательный контур *L1, C2*, поэтому емкость конденсатора *C2*, составляющая 56 пФ, выбрана значительно большей,

Таблица 8

Обозначения кварцев

Данные обозначения используются для всех кварцев комбината Народного предприятия *Narva*, установленных в металлических корпусах. Эти кварцы предназначены для работы в полосах частот 200—500, 1000—3000, 1000—20 000 и 8000—20 000 кГц, а также в качестве кварцевых резонаторов высших гармоник в полосе частот 20—140 МГц

Пример:	*Q*	*D*	*S*	2	*A*	5	*TGL* 11771	27,120 МГц
	1	2	3	4	5	6	7	8

1 – буква обозначения прибора (*Q* означает «кварц»)

2 — буква обозначения вида колебаний прибора.

изгибные колебания	*B*
продольные колебания	*L*
плоские колебания	*F*
поперечные колебания	*D*

3 — буква обозначения типа подключения прибора·

штырьковое (штекерное) подключение	*S*
подключение пайкой	*L*

4 — цифра обозначения рабочей температуры или диапазона рабочих температур:

от —55 до +90°C	1
от —20 до +70°C	2
от 0 до +60°C	3
+75±3°C	4
+70±3°C	5
+60±3°C	6
+50±3°C	7
+25±2°C	8

8,8; 19,1; 19,6; Ø1,32; 6; $12,3^{+0,2}_{-0,1}$

Рис. А Металлический корпус, герметично запаянный. Штырьковое подключение (кварцевый резонатор *HC 6U*)

5 — буква обозначения допуска на отклонение частоты $\Delta f/f$:

$\pm 200 \cdot 10^{-6}$	*A*

$\pm 100 \cdot 10^{-6}$	*B*
$\pm 75 \cdot 10^{-6}$	*C*
$\pm 50 \cdot 10^{-6}$	*D*
$\pm 30 \cdot 10^{-6}$	*E*
$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	*F*
$\pm 10 \cdot 10^{-6}$	*G*

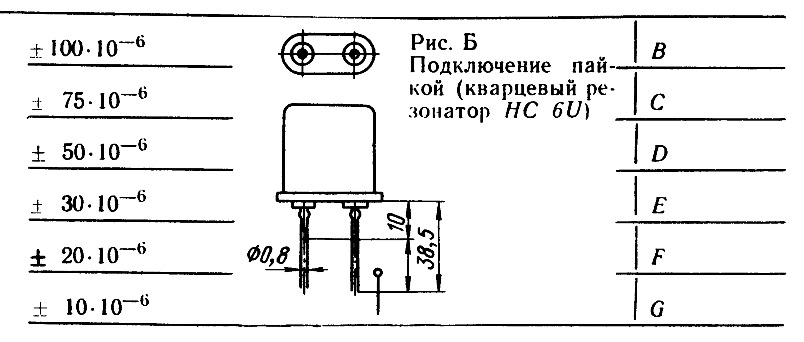


Рис. Б Подключение пайкой (кварцевый резонатор *HC 6U*)

6 — цифра обозначения емкости нагрузки C_L при настройке на параллельный резонанс

30 пФ	3
50 пФ	5
100 пФ	10
150 пФ	15
200 пФ	20
250 пФ	25
300 пФ	30

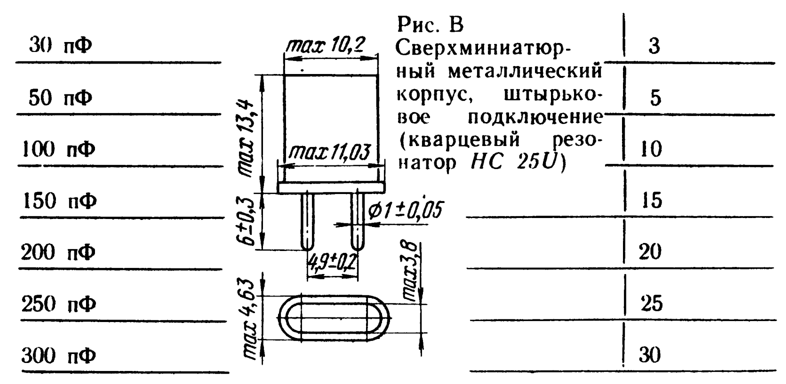


Рис. В Сверхминиатюрный металлический корпус, штырьковое подключение (кварцевый резонатор *HC 25U*)

Буквы для обозначения кварцев, предназначенных для настройки на последовательный резонанс:

F — кварц, предназначенный для установки в качестве фильтра

S — стабилизирующий кварц

7 — номер стандарта

TGL 11767 — кварц, совершающий плоские колебания, 200—400 кГц, в металлическом корпусе

TGL 11769 — кварц, совершающий поперечные колебания, 1000—3000 кГц, в металлическом корпусе

TGL 11770 — кварц, совершающий поперечные колебания, 8000—20 000 кГц, в металлическом корпусе

TGL 11771 — кварц, совершающий поперечные колебания, 20—100 МГц, в металлическом корпусе

Диапазон частот 20—60 МГц

Кварц *QD*, совершающий поперечные колебания.

Рисунки	А и Б
Тип подключения	*S*, *L*

Масса	около 5 г
Стандарт	*TGL* 11771
Статическая параллельная емкость	макс. 7 пф
Сопротивление изоляции	мин. 500 МОм
Нагрузка	4 мВт при 20—30 МГц 2 мВт при 30 - 60 МГц

Допуск на отклонение частоты (предпочтительные значения) при заданных рабочих температурах:

от −20 до +70 С	$\pm 50\cdot10^{-6}$
от 0 до +60°С	$\pm 50\cdot10^{-6}$
+75±3°С	$\pm 30\cdot10^{-6}$
+70±3°С	$\pm 30\cdot10^{-6}$
+60±3°С	$\pm 30\cdot10^{-6}$
+50±3°С	$\pm 30\cdot10^{-6}$
+25±3°С	$\pm 30\cdot10^{-6}$

Кварц *QD*, совершающий поперечные колебания, в сверхминиатюрном корпусе:

Рисунок	*B*
Тип подключения	*S*, *L*
Статическая параллельная емкость	макс. 7 пФ
Сопротивление изоляции	мин. 600 Мом
Нагрузка	4 мВт при 20-- 30 МГц
	2 мВт при 30– 60 МГц

Допуск на отклонение частоты (предпочтительные значения) при заданных рабочих температурах:

от −20 до +70°С	$\pm 50\cdot10^{-6}$
от 0 до +60°С	$\pm 50\cdot10^{-6}$
+75±3°С	$\pm 30\cdot10^{-6}$

Продолжение табл 8

$+70 \pm 3$°C	$\pm 30 \cdot 10^{-6}$
$+60 \pm 3$°C	$\pm 30 \cdot 10^{-6}$
$+50 \pm 3$°C	$\pm 30 \cdot 10^{-6}$
$+25 \pm 3$°C	$\pm 30 \cdot 10^{-6}$

Кварцы *QD* возбуждаются на 3-й гармонике в диапазоне частот 20 – 60 МГц и используются в качестве стабилизирующих кварцев, играющих роль элементов, задающих частоту в схемах генераторов. Кварцы устанавливают в герметически закрытых запаянных металлических корпусах.

чем емкость участка коллектор-база. Кроме того, *RC*-цепочка *R4, C5* развязывает генератор от последующих каскадов усиления мощности. Отрицательная обратная связь выполнена с помощью конденсатора *C1*. Чтобы при указанном на схеме высокочастотном транзисторе генератор одинаково хорошо генерировал все двенадцать канальных частот, емкость конденсатора *C1* должна быть увеличена по сравнению с указанным значением. Если в качестве *T1* выбран транзистор другого типа, то емкость конденсатора *C1* необходимо подбирать заново опытным путем.

Схема, представленная на рис. 103, также очень проста и отвечает всем требованиям дистанционного управления. Для расчета и постройки этой схемы справедливы указания, перечисленные в отношении схемы рис. 102. Сравнение с *LC*-генератором (рис. 98) выявляет родство этих схем. Колебательный контур *L1, C1* схемы рис. 98 здесь заменен кварцевым резонатором, а отрицательная обратная связь в

Рис. 103
Генератор высокой частоты 27,12 МГц, стабилизированный кварцем (кварц включен между базой и массой). Катушка *L1* диаметром 7 мм, с подстроечником, имеет 11 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,5 мм

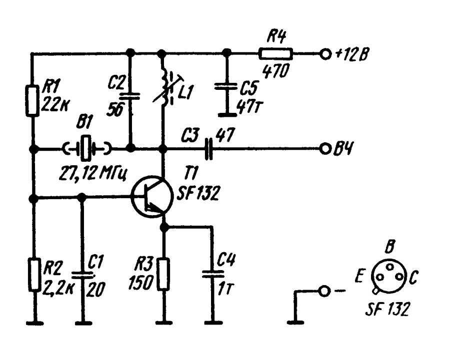
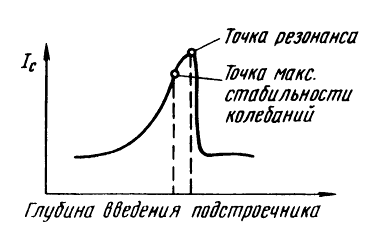


Рис. 104
Резонансная кривая генератора, стабилизированного кварцем



цепи эмиттера заменена простой RC-цепочкой.

Для обеспечения надежной работы передатчика генератор настраивают на точку максимальной устойчивости колебаний (рис. 104). Если настройку генератора производят ввертыванием подстроечника в катушку *L1*, то ток коллектора изменяется в соответствии с кривой рис. 104. Для этого следует найти максимум тока I_c и затем повернуть подстроечник назад на пол-оборота. Благодаря широкополосности генератора точка резонанса выражена не очень четко. Если необходимо перекрыть всю полосу частот, то настройку необходимо осуществлять на ее середину, в ином случае — на середину используемого канала.

После настройки на максимальную устойчивость колебаний проверяют потребление тока генератором при установке всех имеющихся канальных кварцев, при этом — как при повторных включениях напряжения питания — потребляемые токи должны быть примерно одинаковыми. Если потребляемые токи будут различаться более чем на ±1 мА, то настройку рабочей точки следует соответственно изменить.

4.2.1.2. Усилитель мощности высокой частоты

Для обеспечения стабилизации частоты генератор нагружают очень мало. Выходную мощность, требуемую для дистанционного управления моделями, получают с помощью усилителя высокой частоты. Благодаря применению кремниевых транзисторов передатчик можно выполнять с однокаскадным усилителем высокой частоты и получать на антенне выходную мощность от 500 до 600 мВт. В последнее время разработка аппаратуры дистанционного управления идет в направлении повышения КПД передатчика и дальнейшего повышения выходной мощности. В 1974 г. выходная мощность аппаратуры дистанционного управления промышленного изготовления составила уже около 1 Вм *(Varioprop 8S)*, что обеспечивает более благоприятное отношение сигнал/помеха, но значительно уменьшает время работы передатчика при той же емкости батареи.

Такая мощность получена с помощью двухкаскадного усилителя высокой частоты. Даже в том случае, когда моделиста не может удовлетворить меньшая мощность при более длительной работе передатчика после одной зарядки аккумулятора, двухкаскадные усилители высокой частоты более предпочтительны для последующего усовершенствования. Генератор при этом слабо нагружен, модуляция производится в предоконечном каскаде при небольшой потребляемой мощности, а функциональное разделение генератора высокой частоты, выходного усилителя и модулятора на три каскада позволяет оптимизировать режим их работы. Посредством выбора положения рабочей точки и с помощью

межкаскадной связи выходную мощность можно изменять в широких пределах.

Требования к расчету предоконечного и оконечного каскадов, в принципе, одинаковы. Поэтому излагаемый ниже материал относится к обоим каскадам, которые работают в качестве усилителей. Большие сигналы усиливают тогда, когда управление работой транзистора производится вплоть до остаточного напряжения коллектора. Чем меньше это напряжение, тем больше КПД, с которым работает каскад усиления. Хороший транзистор, стоящий в выходном каскаде, должен иметь малую емкость участка коллектор-база при малой зависимости напряжения. Отдаваемая транзистором выходная мощность зависит только от напряжения питания U_B и сопротивления нагрузки R_L и определяется уравнением:

$$P_{ab} = \frac{U_{CE}^2}{2 \cdot R_L}, \qquad (22)$$

где $U_{CE} = U_B - U_{CErest}$.

Для расчета оконечного каскада необходимо точно знать значения следующих параметров транзистора:

максимальная рассеиваемая мощность P_{tot};

максимальный ток коллектора I_{Cmax};

максимальное напряжение коллектора U_{CEmax};

входное и выходное полные сопротивления X_e и X_a;

усиление тока высокой частоты (граничная частота f_T).

Чтобы значение P_{tot} не снижалось, транзистор охлаждают. Величины I_{Cmax} и U_{CEmax} указаны в технических паспортах.

При усилении больших сигналов имеет место соотношение:

$$U_B \leq \frac{U_{CE}}{2}. \qquad (23)$$

При определении величины усиливаемого тока высокой частоты приближенно можно принять, что оконечный каскад

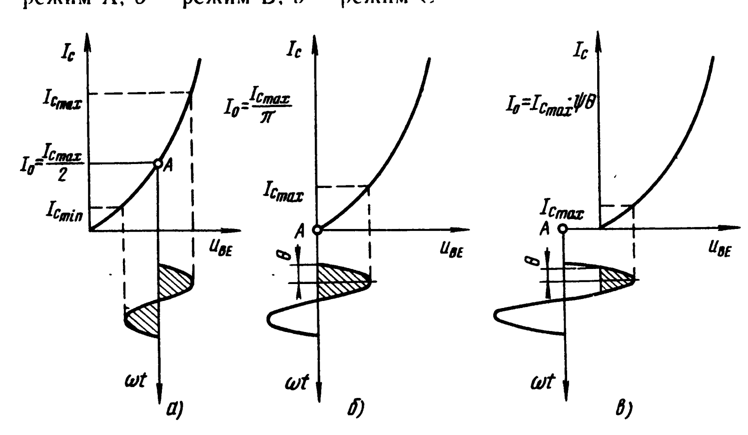


Рис. 105
Положение рабочей точки на характеристике I_C/U_{BE} транзистора: *а* — режим А; *б* — режим В; *в* — режим С

должен работать только при частотах, не превышающих половины граничной частоты f_T, так как при такой частоте усиление мощности уже падает до 12 дБ.

Для оптимального использования емкости источника тока от выходного усилителя требуется большое усиление и достаточный КПД. Транзистор может работать в режиме А, В или С. Каждый из этих режимов характеризуется углом отсечки тока Θ (рис. 105).

Если мощность должна быть усилена с минимальными искажениями сигнала, то выбирают режим А. Теоретический КПД составляет при этом максимум 50%. Появляющиеся при работе в режиме В искажения могут быть снижены при выполнении каскада двухтактным. Усилители, работающие в режиме В, требуют очень хорошей настройки на рабочую точку при ее температурной стабилизации. Теоретический КПД для этого режима составляет 78,5%.

Так как режим С позволяет достичь теоретического КПД 89,7%, этот режим имеет большое значение для расчета каскадов усиления мощности. Усиление в этом режиме меньше, чем в режиме А или В. Так как при отсутствии сигнала через транзистор течет только обратный ток коллектора, транзистор имеет хорошую температурную стабильность. Недостатком работы в режиме С является большая доля высших гармоник, которые следует подавлять с помощью настроенных колебательных контуров, выделяя основную частоту. Для этого необходимо стремиться к тому, чтобы отношение Q_L (добротность нагруженного колебательного контура) к Q_0 (добротность ненагруженного колебательного контура) было небольшим. Это отношение является решающим для получения высокого КПД колебательного контура, определяемого формулой:

$$\eta_{Kr} = 1 - \frac{Q_L}{Q_0}. \qquad (24)$$

Каскады согласуют между собой соответствующим выбором входных и выходных цепочек. Режим С позволяет иметь более простые схемы. Напряжение смещения участка база-эмиттер в запирающем направлении можно получить различными способами. Довольно простым, но неприемлемым на практике является использование второго источника напряжения для подачи

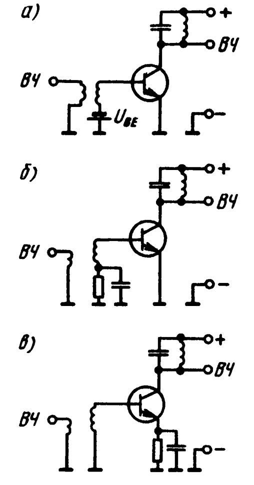


Рис. 106
Варианты схемных решений оконечного каскада, работающего в режиме С: *а* — с вспомогательным источником напряжения; *б* — с *RC*-цепочкой в цепи базы, *в* — с *RC*-цепочкой в цепи эмиттера

на базу напряжения смещения (рис. 106, *а*).

Для передатчиков аппаратуры дистанционного управления обычно используют схему (рис. 106, *в*), в которой в цепь эмиттера включен резистор. Этот резистор (сопротивление которого в оконечных каскадах передатчиков составляет 5—10 Ом), шунтированный конденсатором, дает возможность посредством измерения напряжения определить ток эмиттера.

При расчете каскада усиления, работающего в режиме С, следует учитывать, что из-за того, что транзистор управляется импульсным сигналом, ток коллектора сильно искажается (рис. 107). Постоянный ток коллектора на резисторе в цепи эмиттера значительно меньше амплитуды переменного тока i_{Cmax}. Величины амплитуд высших гармоник при соответствующих углах отсечки тока можно найти на диаграмме (рис. 108). С помощью этой диаграммы можно получить значения следующих характеристик:

амплитуда основной волны

$$i_{C1} = i_{Cmax} \cdot f_1 (\Theta); \quad (25)$$

амплитуда первой гармоники

$$i_{C2} = i_{Cmax} \cdot f_2 (\Theta); \quad (26)$$

амплитуда второй гармоники

$$i_{C3} = i_{Cmax} \cdot f_3 (\Theta); \quad (27)$$

амплитуда постоянного тока коллектора

$$I_C = i_{Cmax} \cdot \psi (\Theta). \quad (28)$$

Проблемы, возникающие при определении номиналов каскада усиления мощности

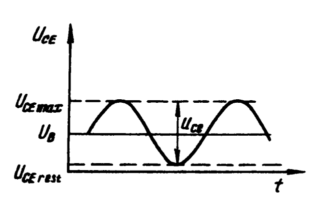


Рис. 107
Напряжение на коллекторе транзистора при полной модуляции

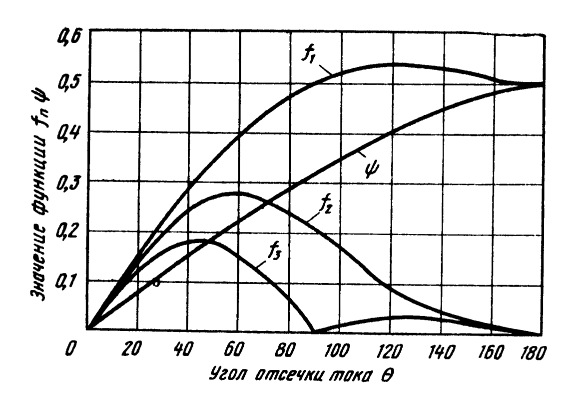


Рис. 108
Зависимость постоянного и переменного токов коллектора от угла отсечки тока

высокой частоты, можно пояснить на примере. Пусть при использовании транзистора типа *SF 127* необходимо собрать оконечный каскад передатчика, работающий на частоте 27,12 МГц в режиме С. Этот транзистор имеет следующие характеристики: $U_{CEmax} = 30$ В, $I_{Cmax} = 500$ мА, $P_{tot} = 600$ мВт, $R_{itherm} = 60$ град/Вт, $f_T = 100$ МГц, $C_{BC} = 12$ пф, $U_{CErest} = 1{,}5$ В.

Благодаря энергии, запасенной в колебательном контуре в цепи коллектора, напряжение между коллектором и эмиттером вдвое больше напряжения питания (см. рис. 107). Поэтому:

$$U_B = \frac{U_{CEmax}}{2} = 15\ \text{В}.$$

Напряжение U_B выбрано равным 12 В (максимум 15 В).

При $\Theta = 55°$ для пикового значения тока амплитуда основной волны в соответствии с диаграммой рис. 108, составляет:

$$i_{C1} = I_{Cmax} \cdot 0{,}36 = 400\ \text{мА} \cdot 0{,}36 = 144\ \text{мА}.$$

Значение I_{Cmax} принято равным 400 мА. Постоянная составляющая тока коллектора тогда равна

$$I_C = i_{Cmax} \cdot \psi(\Theta) = 400\ \text{мА} \cdot 0{,}2 = 80\ \text{мА}.$$

Сопротивление нагрузки коллектора получают равным:

$$R_L = \frac{U_B - U_{CErest}}{i_{C1}} = \frac{12\text{В} - 1{,}5\ \text{В}}{144\ \text{мА}} = 73\ \text{Ом}. \qquad (29)$$

По уравнению (22) находят выходную мощность:

$$P_{ab} = \frac{U^2_{CE}}{2R_L} = \frac{(10{,}5\text{В})^2}{2 \cdot 73\ \text{Ом}} = 0{,}753\ \text{Вт}$$

и с помощью выражения

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \qquad (30)$$

определяют КПД коллектора

$$\eta = \frac{0{,}753\ \text{Вт}}{12\text{В} \cdot 0{,}080\text{А}} = 0{,}785.$$

Рассеиваемая мощность, преобразуемая в транзисторе в тепло, с учетом управляющей мощности P_{St} составляет:

$$P_T = P_{zu} - P_{ab} + P_{St}. \qquad (31)$$

Для выходной мощности 0,753 Вт управляющую мощность принимают равной 0,075 Вт, следовательно:

$$P_T = 0{,}96\ \text{Вт} - 0{,}753\ \text{Вт} + 0{,}075\ \text{Вт} = 0{,}282\ \text{Вт}.$$

При рассеиваемой мощности 282 мВт в нормальном случае не было бы необходимости в дополнительном охлаждении транзистора. Но при дистанционном управлении возникают неблагоприятные условия эксплуатации, например при включении передатчика без антенны. При этом мощность вы-

сокой частоты не может излучаться через антенну и преобразовывается в транзисторе в тепло. Неохлаждаемый транзистор перегружается и может выйти из строя из-за перегрева. Поэтому передатчик не следует включать без антенны. Перегрузку оконечного каскада можно предупредить увеличением охлаждаемой поверхности.

В неблагоприятном случае в транзисторе оконечного каскада рассеивается мощность ~400 мВт. Для рассеиваемой мощности $P_v = 0{,}4$ Вт транзистор должен иметь хорошее охлаждение, чтобы не была превышена максимальная допустимая температура запирающего слоя $T_j = 175°C$. Приняв в качестве максимальной температуры окружающей среды $T_a = 75\,°C$, можно рассчитать тепловое сопротивление:

$$R_{therm} = \frac{T_j - T_a}{P_T} = \frac{175\,°C - 75\,°C}{0{,}40\ \text{Вт}} = 250\ \text{град/Вт}. \quad (32)$$

Для внутреннего теплового сопротивления транзистора типа *SF 127* в его техническом паспорте указано:

$R_{itherm} = 60$ град/Вт.

Тепловое сопротивление охлаждающей поверхности рассчитывают следующим образом:

$$R_{atherm} = R_{therm} - R_{itherm} = 250\ \text{град/Вт} - 60\ \text{град/Вт} = 190\ \text{град/Вт}. \quad (33)$$

Требуемую площадь охлаждающей поверхности определяют с помощью константы теплообмена

$$F = \frac{1}{\alpha \cdot R_{atherm}} = \frac{1}{1{,}5\ \text{мВт/град}\cdot\text{см}^2 \cdot 0{,}19\ \text{град/мВт}} = 3{,}5\ \text{см}^2. \quad (34)$$

Для спокойного воздуха принимают:

$\alpha = 1{,}5$ мВт/град·см².

В передатчиках аппаратуры дистанционного управления применяют охлаждающие звездообразные радиаторы, плотно охватывающие транзисторы и обеспечивающие достаточное охлаждение транзисторов оконечного каскада.

Представленный выше расчет предусматривает работу транзистора в оптимальном режиме. Но этот режим обеспечен только в случае, когда полные входное и выходное сопротивления транзистора точно согласованы с источником управляющего тока и с сопротивлением нагрузки. При согласовании с помощью соответствующих цепочек элементов необходимо компенсировать реактивную составляющую полного сопротивления транзистора и преобразовать активную составляющую.

Особое внимание следует уделить схеме выходной цепочки. Максимально возможная выходная мощность транзистора P_{ab}, согласно уравнению (22), фактически также

должна излучаться через антенну в форме полезной мощности высокой частоты. Для этого входное сопротивление антенны, при полуволновом диполе штыревой антенны составляющее $R_{Ant} \approx 75$ Ом, а при четвертьволновом — $R_{Ant} \approx 35$ Ом, должно быть согласовано с выходным сопротивлением транзистора оконечного каскада. Схема выходной цепочки в большой мере зависит от номинальной частоты и мощности.

При малых мощностях на частотах 13,56; 27,12 и 40,68 МГц вполне достаточно простого параллельного колебательного контура с индуктивной связью. Согласование производится выбором необходимого соотношения числа витков. Но это соотношение определяет не только согласование, но и глубину связи. Колебательный контур должен иметь высокий КПД η_{Kr}, определяемый уравнением (24). Но при этом связь должна быть такой, чтобы из-за сильного демпфирования колебательного контура не была сильно снижена его добротность Q_L. Малая добротность Q_L приводит к неудовлетворительной селекции высших гармоник колебательным контуром при работе оконечного каскада в режиме С.

Иллюстрацией к сказанному выше может стать двухкаскадный высокочастотный блок передатчика для аппаратуры *Picoprop* (рис. 109), рассчитанный на небольшую выходную мощность (примерно $P_{HF} = 120$ мВт). Генератор высокой частоты построен по стандартной схеме, показанной на рис. 103. Оконечный каскад индуктивно связан с генератором через катушку *L1*. Транзистор оконечного каскада *T4* работает в режиме С. Он включен по схеме с общим эмиттером и в качестве нагрузки имеет контур усилителя мощности, собранный на катушке *L2* и конденсаторе *C7*. С помощью резистора *R4* можно в определенных пределах изменять режим работы транзистора *T4* и за счет этого компенсировать разброс параметров у отдельных экземпляров транзисторов. Связь с антенной выполнена при отношении чисел витков катушки 8:4.

Индуктивная связь с нагрузкой в колебательном контуре

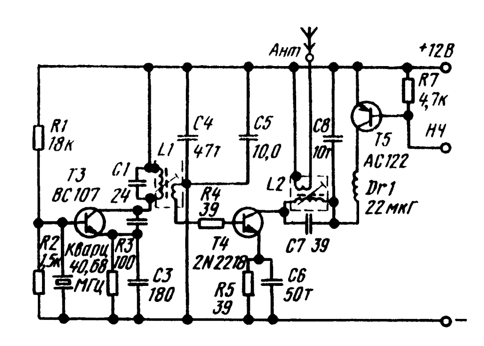


Рис. 109
Двухкаскадный высокочастотный блок передатчика, в котором модуляция осуществляется в оконечном каскаде (аппаратура *Picoprop*). Длина антенны около 140 см. Катушки *L1* и *L2* диаметром 4 мм, с подстроечниками, имеют соответственно 8/2 и 8/4 витков

усилителя мощности фиксирована соотношением чисел витков катушки и может быть изменена лишь с большим трудом. В определенных пределах ее можно изменять с помощью подстроечника, но так как при этом одновременно изменяется настройка колебательного контура, чаще всего оптимального соотношения согласования не получают (рис. 110,*а*).

Настройку и согласование колебательного контура усилителя мощности лучше производить раздельно. В схеме, показанной на рис. 110,*б*, колебательный контур настраивается изменением индуктивности с помощью подстроечника, а антенна согласуется изменением емкостей конденсаторов *C1* и *C2*.

При повышенных мощностях высокой частоты (P_{HF} более 150 мВт) колебательный контур должен обладать определенными фильтрующими свойствами, чтобы осуществлять демпфирование высших гармоник. Для этого параллельный колебательный контур модифицирован так, чтобы улучшить его фильтрующую способность. В схеме, показанной на рис. 110,*в*, выводы положительного полюса источника питания и антенны поменялись местами. Это допустимо, так как по высокой частоте положительный полюс источника питания связан с массой. При этом напряжение питания подается на транзистор через высокочастотный дроссель (20 мкГ). *LC*-цепочка в цепи коллектора известна под названием П-фильтр или фильтр Коллинза (рис. 110, *г*).

С помощью П-фильтра можно оптимально решить такие задачи, стоящие перед усилителем мощности передатчика аппаратуры дистанционного

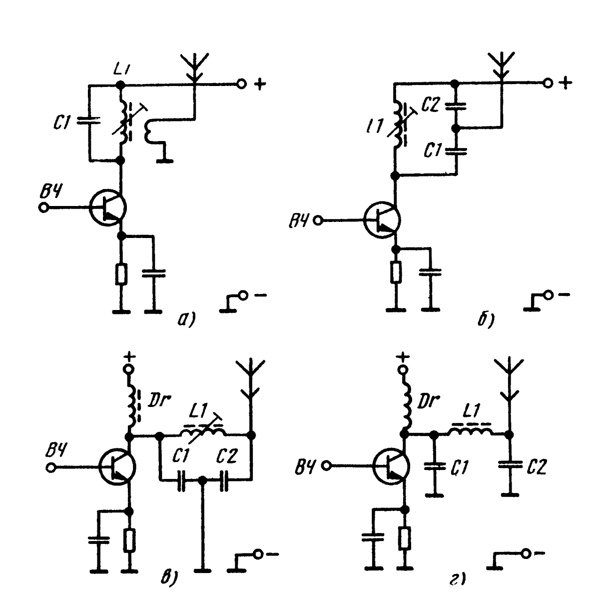


Рис. 110
Варианты схем выходных цепей: *а* — с параллельным колебательным контуром; *б* — с параллельным колебательным контуром и емкостной связью с нагрузкой; *в* — с модифицированным колебательным контуром усилителя мощности; *г* — с П-фильтром

управления, как согласование по мощности и подавление высших гармоник при приемлемой (до 1 Вт) мощности высокой частоты. Низкоомный выход антенны, сопротивление которого составляет около 35 Ом, и выходное сопротивление транзистора, равное 50—100 Ом, определяют емкости конденсаторов *C1* и *C2* (рис. 110, *г*), которые больше емкостей конденсаторов в параллельном колебательном контуре. На входе и выходе П-фильтра конденсаторы обеспечивают почти короткое замыкание для высших гармоник. Подавление высших гармоник тем лучше, чем больше емкости конденсаторов *C1* и *C2*.

Так как П-фильтр представляет собой параллельный колебательный контур, его рабочая добротность не должна быть меньше ее минимального значения. При выборе значений индуктивности и емкостей П-фильтра идут на компромисс и рабочую добротность Q_L выбирают в пределах от 1 до 5. Для оптимальной настройки П-фильтра его элементы часто выполняют регулируемыми (*L* — для подстройки частоты, *C1* и *C2* — для согласования). Можно подобрать необходимые для согласования

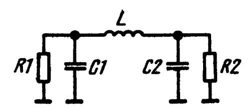


Рис. 111
Эквивалентная схема для расчета П-фильтра. *R1* соответствует R_L. *R2* соответствует R_{Ant}

постоянные конденсаторы, отказавшись от подстроечных, так как обычно в распоряжении имеется набор конденсаторов с близкими по значению номиналами.

Проблемы, возникающие при использовании П-фильтра, можно пояснить при расчете эквивалентной схемы (рис. 111). Для случая, когда *R1* больше *R2*, элементы схемы рассчитывают по следующим уравнениям:

$$C1 = \frac{2Q_L}{\omega(R1 + \sqrt{R1 \cdot R2})}; \qquad (35)$$

$$C2 = \frac{2Q_L}{\omega(R2 + \sqrt{R1 \cdot R2})}; \qquad (36)$$

$$L = \frac{R1 + R2 + 2\sqrt{R1 \cdot R2}}{2Q_L \cdot \omega}. \qquad (37)$$

Пример:

Оконечный каскад, собранный на транзисторе типа *SF 127*, работает на четвертьволновую антенну. Определить номиналы элементов П-фильтра, если рабочие характеристики каскада имеют следующие значения: $f_0 = 27{,}12$ МГц, $R_{Ant} = 35$ Ом, $R1 = 73$ Ом, $Q_L = 1$, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 6{,}28 \cdot 27{,}12 \cdot 10^6$ с$^{-1}$ $= 1{,}703 \cdot 10^8$ с$^{-1}$. Отсюда получают

$$C1 = \frac{2 \cdot 1\text{с}}{1{,}7 \cdot 10^8 \cdot (73\ \text{Ом} + \sqrt{73\ \text{Ом} \cdot 35\ \text{Ом}})} \approx 96\ \text{пФ}.$$

Емкость конденсатора *C1* принимают равной 100 пФ.

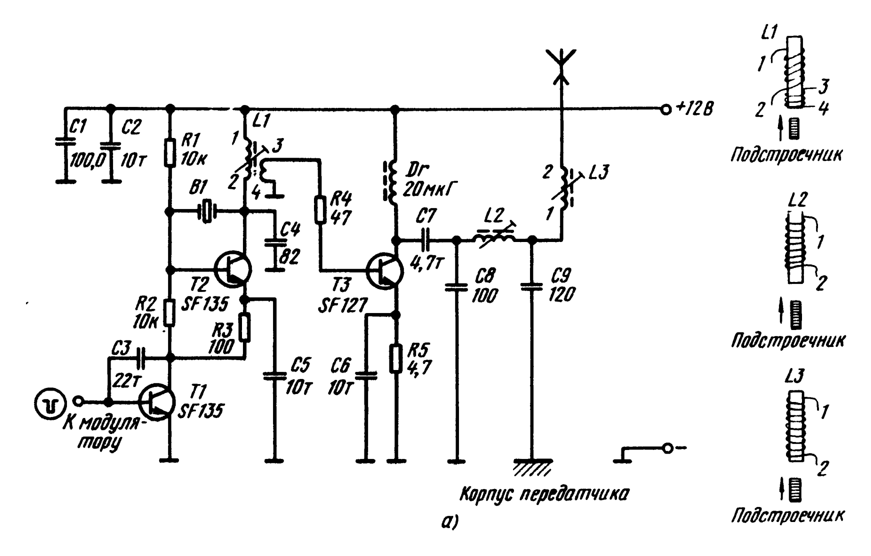
$$C2 = \frac{2 \cdot 1\text{с}}{1{,}7 \cdot 10^8 (35\ \text{Ом} + \sqrt{73\ \text{Ом} \cdot 35\ \text{Ом}})} \approx 137\ \text{пФ}.$$

Емкость конденсатора *C2* принимают равной 120 пФ.

$$L = \frac{(73\ Ом + 35\ Ом + 2\sqrt{73\ Ом \cdot 35\ Ом})\cdot c}{2\cdot 1\cdot 1{,}7\cdot 10^{8}} = 0{,}615\ мкГ.$$

Катушку *L* (диаметр 7 мм, 8 витков) выполняют с подстроечником.

Выходная мощность двухкаскадного высокочастотного блока передатчика, собранного на основе приведенного выше расчета (рис. 112), составляет до 600 мВт. Чтобы изолировать антенну от подачи на нее постоянного тока, П-фильтр связан с транзистором оконечного каскада через конденсатор *C7*. Это позволяет надежно предотвратить короткие замыкания напряжения питания при случайных подключениях антенны к корпусу



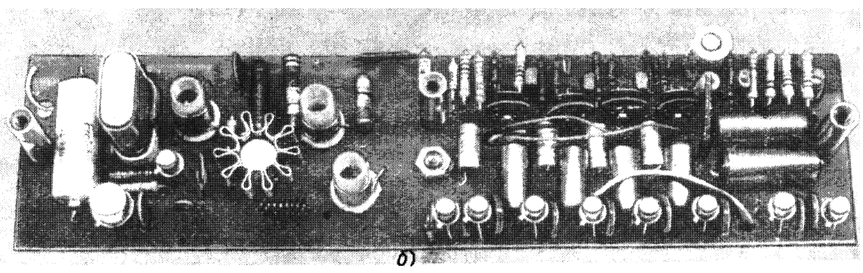


Рис. 112
Двухкаскадный высокочастотный блок передатчика с П-фильтром: *а* схема: обмотка 1—2 катушки *L1* имеет 11 витков, обмотка 3—4 - 4,5 витка. Катушка *L2* имеет 8 витков, катушка *L3* — 13 витков. Все катушки имеют диаметр 7 мм и намотаны медным покрытым эмалью проводом диаметром 0,5 мм; *б* — плата в сборе

(корпус передатчика подключен к массе). Катушка *L3* не относится к П-фильтру, она предназначена для компенсирования реактивной составляющей полного сопротивления антенны (см. раздел 4.2.1.4 «Антенны»).

На рис. 112, *б* показаны конструктивные решения этого высокочастотного блока. Чертеж печатной платы и монтажная схема рассчитаны и на сборку импульсного блока (см. рис. 35). Таким образом, вся электронная схема передатчика размещена на одной печатной плате. Другие конструктивные узлы передатчика рассмотрены в разделе 6.1.1.

Полученные расчетом значения следует рассматривать лишь как приближенные. Из-за многообразия вариантов применения и меняющихся условий окружающей среды работу возможно вести только при приближенных значениях номиналов схемных элементов. Так, изменяющееся напряжение питания (см. раздел 5) приводит к тому, что при полностью заряженной батарее значения номиналов должны быть другими, чем при разряженной (при которой передатчик должен работать даже надежнее). В результате разбросами параметров транзисторов и влиянием конструкции (емкостей монтажа) пренебрегают.

Моделистам, самостоятельно разрабатывающим аппаратуру дистанционного управления, следует не только пользоваться расчетами, позволяющими получать приближенные значения номиналов схемных элементов, но также изучать схемы высокочастотных блоков, многократно оправдавших себя на практике.

Хотя рассмотренный выше П-фильтр представляет собой хорошее решение для каскада усиления мощности, еще луч-

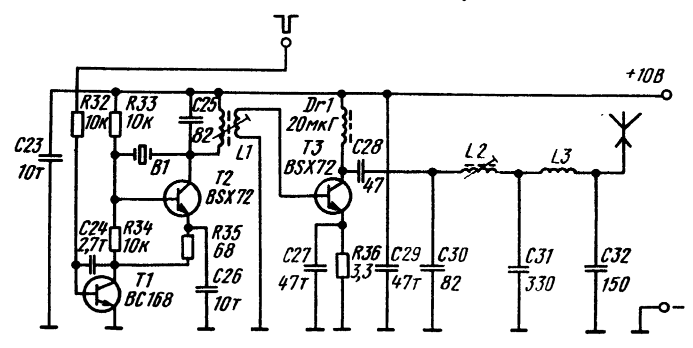


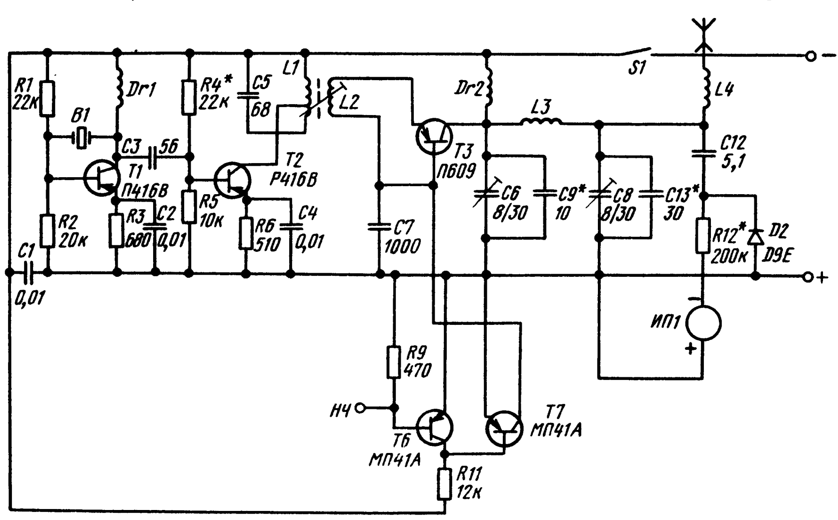
Рис. 113
Двухкаскадный высокочастотный блок передатчика с двойным П-фильтром (аппаратура *Multiplex*). Антенна имеет удлинительную катушку, установленную в ее середине. Катушки *L1*, *L2* и *L3* имеют диаметр 7 мм и намотаны медным покрытым эмалью проводом. Катушка *L1*, с подстроечником, имеет 12/4 витка, диаметр провода 0,5 мм, катушка *L2*, с подстроечником,— 9 витков, диаметр провода 0,8 мм, катушка *L3* — 12 витков, диаметр провода 1 мм

шее подавление высших гармоник обеспечивает двойной П-фильтр. В этом фильтре оба фильтрующих каскада включены последовательно. В схеме, представленной на рис. 113, средний конденсатор *C31* двойного П-фильтра имеет довольно большую емкость, равную 330 пФ, благодаря чему появляющиеся высшие гармоники почти полностью замыкаются на массу. При усложнении высокочастотного блока (рис. 114) необходимо обратить внимание на то, что оси катушек *L2* и *L3* развернуты относительно друг друга на 90° для предотвращения какой-либо индуктивной связи между ними.

В качестве примера трехкаскадного высокочастотного блока передатчика на рис. 114 показан такой блок аппаратуры дистанционного управления *Пилот*. О преимуществах трехкаскадного высокочастотного блока уже было сказано выше. Здесь следует заметить, что высокочастотный блок собран на германиевых транзисторах. Рассеиваемая мощность транзистора типа *П609* усилителя мощности составляет 1,5 Вт. Для раскачки транзистора необходима трехкаскадная схема. Генератор работает по стандартной схеме (см. рис. 102). Устойчивость колебаний такого генератора настолько высока, что колебательный контур в цепи коллектора может быть заменен высокочастотным дросселем.

Связь генератора с предоконечным каскадом, собранным

Рис. 114
Трехкаскадный высокочастотный блок передатчика (аппаратура *Пилот*). Катушка *L1*, с подстроечником, имеет 5 витков провода диаметром 0,69 мм, катушка *L2*, с подстроечником, – 5 витков провода диаметром 0,51 мм, катушка *L3* — 16 витков провода диаметром 1,0 мм и катушка *L4* — 35 витков провода диаметром 0,53 мм Провод — медный, покрытый эмалью. Индуктивности дросселей *Dr1* и *Dr2* составляют 150 мкГ. Напряжение питания от 12,5 до 15 В



на транзисторе *T2*, осуществляется через конденсатор *C3*. Чтобы этот транзистор не слишком сильно демпфировал колебательный контур *L1, C5*, включенный в его коллекторную цепь, коллектор транзистора подключен к среднему отводу катушки *L1*. Транзистор *T3* усилителя мощности включен по схеме с общей базой, редко используемой в передатчиках. Схему с общей базой в большинстве случаев выбирают тогда, когда в распоряжении имеются лишь транзисторы со слишком низкой граничной частотой. Колебательный контур усилителя мощности выполнен в виде П-фильтра. При этом следует заметить, что емкость коллектора транзистора типа П-609 равна 50 пФ. Поэтому емкости конденсаторов фильтра должны быть относительно меньше емкостей, необходимых для схемы, собранной на кремниевых транзисторах.

4.2.1.3. Умножитель частоты

С помощью схем, описанных в предыдущем разделе, можно построить передатчик, работающий в полосе частот 13,56, 27,12 или даже 40,68 МГц. Из табл. 1 видно, что во многих странах для дистанционного управления моделями разрешены частоты в дециметровом диапазоне от 430 до 465 МГц (УВЧ-диапазон). Из-за перегрузки «классической» полосы частот 27,12 МГц именно дециметровый диапазон частот представляет особый интерес (см. также раздел 2).

Для работы в полосе частот 433 МГц до сих пор промышленно изготовлена (в Швейцарии) лишь одна модель аппаратуры дистанционного управления. Поэтому моделисты располагают широкими возможностями для экспериментирования с самодельной аппаратурой в этом диапазоне. Появление соответствующих схемных элементов (СВЧ-транзисторов, варикапов) позволяет разрабатывать надежную аппаратуру для работы в УВЧ-диапазоне. Ниже кратко рассмотрены проблемы, которые при этом приходится решать. Отдельные примеры могут оказать помощь при самостоятельных разработках.

Высокочастотные колебания в полосе частот 433 МГц можно получить с помощью генератора свободных колебаний. Однако из-за особых свойств УВЧ-колебаний и узкой допустимой полосы частот (0,2%) использование такого генератора нецелесообразно. К тому же, генераторы, стабилизированные кварцем, ненадежно работают на частотах более 100 МГц. На практике эту трудность обходят, создавая устойчивые в работе кварцевые генераторы частот f_0, составляющих менее 100 МГц, и получая затем рабочую частоту передатчика 433 МГц с помощью каскада умножения частоты. Умножение частоты означает не что иное, как генерирование высших гармоник. Здесь они как раз желательны.

Высшие гармоники образуются тогда, когда синусоидаль-

ное напряжение искажается за счет нелинейности характеристики схемного элемента. Таким элементом может быть диод, а также работающий в режиме В или С усилитель.

Из кривых диаграммы (рис. 108) видно, что получение высших гармоник очень сильно зависит от установленной рабочей точки. Наибольшую долю высших гармоник получают при малых углах стсечки тока, т. е. при работе в режиме С. Взаимосвязь между амплитудой высшей гармоники и углом отсечки тока выражается приближенным уравнением:

$$\Theta \approx \frac{120^\circ}{n}. \qquad (38)$$

Вторая высшая гармоника максимальна при $\Theta \approx 60^\circ$, третья — при $\Theta \approx 40^\circ$.

Диаграмма также показывает, что амплитуда высшей гармоники быстро падает при возрастании умножения. Это равнозначно уменьшению КПД каскада умножения частоты.

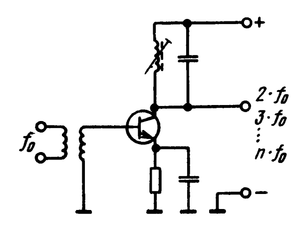


Рис. 115
Каскад умножения частоты

Поэтому в одном каскаде производят чаще всего только удвоение или утроение частоты.

Каскад умножения частоты работает при включении транзистора по схеме с общей базой или с общим эмиттером в режиме С. На каскад подается основная частота, а необходимая высшая гармоника снимается с настроенного на нее колебательного контура, включенного в цепь коллектора транзистора (рис. 115). Благодаря этому на выходе получают высшую гармонику достаточной мощности. Выходная частота должна быть значительно меньше граничной частоты транзистора усилительного каскада.

Изменением раскачки постоянный ток коллектора можно получить такой величины, при которой достигают максимальной мощности высшей гармоники. На выходной контур поступают также нежелательные кратные (гармонические составляющие) основной частоты. Для их подавления подключают так называемый контур Целлера (последовательный колебательный контур). Для резонансной частоты такой колебательный контур оказывает лишь малое сопротивление и практически замыкает ее на массу (рис. 116). Установка контура Целлера на

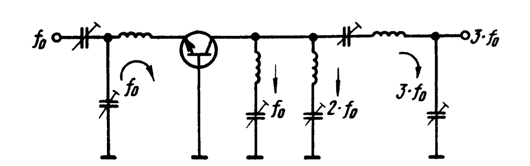


Рис. 116
Утроитель частоты, собранный на транзисторе, включенном по схеме с общей базой

входе каскада умножения частоты, настроенного на частоту раскачки, приводит к повышению тока базы и выхода высших гармоник.

На рис. 117 приведена схема передатчика с учетом вышеизложенных соображений.

В передатчике, имеющем выходную мощность около 1 Вт (рис. 117), генератор, стабилизированный кварцем, собран на транзисторе *T1*, включенном по схеме с общей базой. Емкости обоймы кварца компенсированы катушкой *L1*, поэтому настройку схемы можно производить точно на основную частоту $f_0 = 72{,}32$ МГц. Генерируемая частота через конденсаторы подается на транзистор *T2*, включенный по схеме с общим эмиттером и работающий в качестве утроителя частоты. Конденсатором *C7* раскачку транзистора *T2* изменяют до получения наибольшей амплитуды высшей гармоники. Контур в цепи коллектора транзистора *T2* посредством изменения емкости конденсатора *C9* и индуктивности катушки *L3* настраивают на частоту $3 \cdot f_0 = 216{,}96$ МГц.

Следующий каскад работает по схеме с общим эмиттером и удваивает эту частоту до 433,92 МГц. Связь между предоконечным и оконечным каскадами также емкостная и может регулироваться. Антенна несимметрично связана с выходным контуром через конденсатор *C20*.

При разработке таких передатчиков следует иметь в виду, что УВЧ-волны имеют совершенно другие свойства, чем КВ- и УКВ-волны. В случае УВЧ-волн катушки имеют очень малое число витков из посеребренной проволоки, а емкости конденсаторов в цепи колебательного контура очень малы.

Особое внимание при разработке следует уделять прокладке коротких, не создающих больших паразитных емкостей проводников. Трудно осуществимой является самостоятельная разработка моделистами проходных усилителей для работы в УВЧ- диапазоне, рассчитанных на выход-

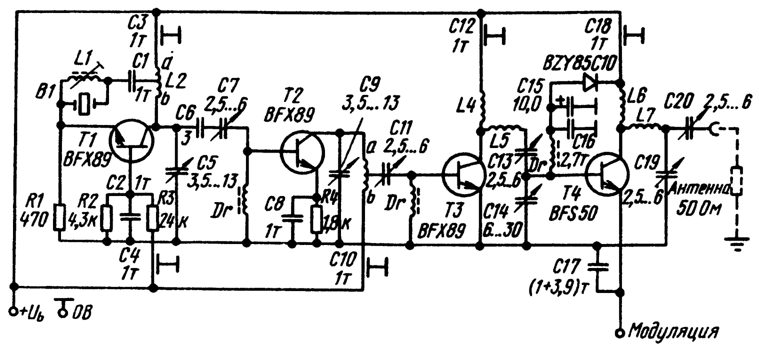


Рис. 117
Четырехкаскадный передатчик, работающий в полосе частот 433 МГц и собранный с умножителем частоты. Резонансная частота кварца равна 72,75 МГц

ную мощность передатчика от 50 до 100 мВт, не только из-за конструктивных трудностей, но и из-за того, что мощных транзисторов, предназначенных для работы в этом диапазоне, еще очень мало и они слишком дороги.

Многообещающее для моделистов решение заключается в следующем: усиление мощности относительно низкой частоты производится каскадами, непосредственно следующими за генератором. Такие каскады, обладающие большей стабильностью, чем УВЧ-усилители, рассчитывают так же, как усилители высокой частоты.

Благодаря использованию колебательного контура Целлера здесь более надежно производится подавление высших и низших гармоник. Несущую частоту передатчика получают посредством умножения относительно низкой частоты генератора в пассивной цепи на выходе усилителя. Для умножения частоты при высоком КПД такие цепи в большинстве случаев собирают на варикапах.

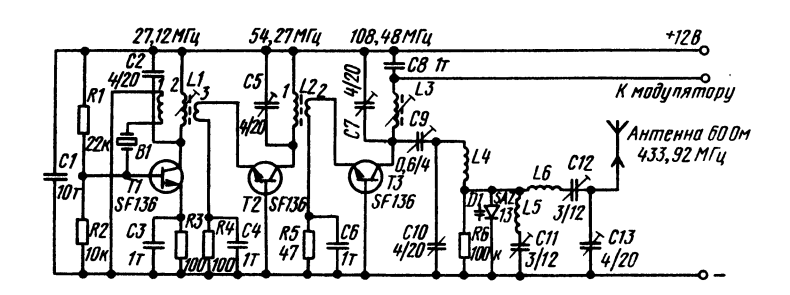
Варикап представляет собой параметрический диод с емкостью, которая определяется подаваемым на него напряжением, и экстремально нелинейной характеристикой.

Схема УВЧ-передатчика, построенного по поясненному выше принципу, представлена на рис. 118. Стабилизированный кварцем генератор, собранный на транзисторе *T1*, работает по схеме Майсснера. Постоянная обратная связь через катушку *L1/2* обусловливает появление в токе коллектора транзистора *T1* составляющей высших гармоник, имеющей большую амплитуду. Чтобы получить требуемую частоту 27,12 МГц, кварц установлен в цепи обратной связи генератора.

Каскад удвоения частоты, собранный на транзисторе *T2*, работает по схеме с общей базой и индуктивно связан с генератором через катушку *L1/3*. Колебательный контур в цепи коллектора транзистора

Рис. 118

Передатчик с варикапом, работающий в полосе частот 433 МГц. Катушка *L1* имеет 2/12/2, *L2* — 5/2, *L3* и *L5* — 3,5, *L4* — 7 и *L6* — 2 витка. Все катушки имеют диаметр 6 мм, *L1*, *L2*, *L3* — с подстроечниками. Катушки *L1* и *L2* намотаны медным покрытым эмалью проводом в шелковой оплетке, диаметр провода 1 мм. Катушки *L4*, *L5*, *L6* — бескаркасные, межвитковое расстояние 1 мм



$T2$ настроен на частоту $f_1 = 2 \cdot f_{Grund} = 54{,}24$ МГц. Раскачку транзистора $T2$ можно регулировать с помощью подстроечника катушки $L1$. Второй каскад одновременно работает и в качестве предоконечного усилителя. Оконечный каскад собран на транзисторе $T3$. Второй и третий каскады, следовательно, могут быть настроены на оптимальное усиление мощности.

Настройка транзистора $T3$ производится также посредством катушки обратной связи $L2/2$, а регулировка обратной связи на оптимум — с помощью подстроечника. Оконечный каскад усиливает частоту раскачки, работая в режиме С, а колебательный контур в цепи коллектора отфильтровывает высшую гармонику, имеющую частоту $f_2 = 2 \cdot f_1 = 108{,}48$ МГц. Эта гармоника управляет работой выходной цепи, которая еще раз умножает частоту раскачки, благодаря чему на ее выходе появляются колебания с частотой $f_3 = 433{,}92$ МГц.

Рассмотрим расчет выходной цепи.

Для получения возможно большего выхода необходимой высшей гармоники варикап $D1$, работающий при связи по току (параллельное включение), устанавливают в согласующую цепочку. Благодаря малому полному сопротивлению варикапа при связи по току легче реализовать условия согласования. Кроме того, один из выводов варикапа подключен к массе для охлаждения, которое необходимо при больших входных сигналах, так как при более низких рабочих температурах КПД варикапа выше. Оптимальное согласование варикапа позволяет получить примерно следующие КПД при умножении частоты:

n	2	3	4	5
КПД	75%	70%	55%	40%

Высшая гармоника f_0 связана при этом с основной частотой f_{Grund} следующим соотношением:

$$f_0 = f_{Grund} \cdot n, \tag{39}$$

где n — порядок высшей гармоники.

Как видно, КПД быстро уменьшается при возрастании порядка высших гармоник. С помощью варикапа следует производить лишь удвоение, в крайнем случае — утроение частоты. Рассмотрим вариант, когда избран комбинированный путь увеличения порядка высших гармоник. В генераторе установлен кварц, имеющий резонансную частоту 27,12 МГц. Умножая ее на целые числа, получают следующую цепочку частот:

27,12→54,24→108,48→433,92 МГц.

Несущая частота передатчика, равная 433, 92 МГц, является увеличенной в 16 раз частотой генератора 27,12 МГц.

В последнем каскаде с помощью варикапа производят умножение частоты на четыре и в лучшем случае обеспечивают КПД, равный 55%. Такая схема не требует жесткого вы-

держивания номиналов элементов и поэтому может быть собрана моделистами. Обеспечиваемая выходная мощность достаточна для управления моделью.

Более высокую выходную мощность можно получить при тех же входных каскадах, если оконечный каскад выполнить в виде удвоителя частоты, благодаря чему его КПД будет равен уже 75%. Но для этого необходим дополнительный промежуточный каскад удвоения частоты. Такая цепочка частот выглядела бы так:

27,12→54,24→108,48→216,96 →433,92 МГц.

Правда, такая схема предъявляет более высокие требования к транзисторам и конструкции передатчика.

Последовательный колебательный контур *C10, L4*, настроенный на частоту 108,48 МГц, обеспечивает эффективную раскачку варикапа и за счет этого повышает КПД. Сопротивление шунтирующего резистора *R6* определяет рабочую точку варикапа. Через этот резистор проходит ток, выпрямленный при детектировании. Его сопротивление, составляющее от 30 до 200 кОм, лучше подобрать опытным путем.

С помощью *LC*-цепочки *L5, C11* контур Целлера, настроенный на частоту третьей гармоники $3 \cdot f_2 = 325{,}44$ МГц, согласуется с выходом каскада. На выходе происходит смешение частот, приводящее к суммированию и вычитанию высших гармоник. В результате дополнительно к составляющей высшей гармоники $4 \cdot f_2 = 433{,}92$ МГц образуется другая составляющая:

$$f_2 + 3 \cdot f_2 = 108{,}48 + 325{,}44 = 433{,}92 \text{ МГц},$$

что еще более повышает КПД выходной цепи каскада. Необходимая высшая гармоника 433,92 МГц отфильтровывается цепочкой *L6, C12*, и *C13* и подается на антенну.

Благодаря настройке последовательного колебательного контура, установленного на входе на частоту f_2, контура Целлера на частоту $3 \cdot f_2$ и выходного колебательного контура на частоту $4 \cdot f_2$, со стороны выхода варикапа могут появиться только эти высшие гармоники. Поэтому дополнительные потери из-за появления нежелательных частот исключены.

Настройка УВЧ-передатчика требует довольно большого терпения. Все контуры выходной цепи оказывают взаимное влияние на согласование и резонансные частоты друг друга. Чтобы можно было оптимально настроить передатчик, все конденсаторы должны быть переменными. Это оправдано, так как настройку передатчика приходится многократно повторять в направлении указанной на схеме нумерации конденсаторов. При этом можно использовать абсорбционный волномер, индикаторную лампочку (3,8 В, 0,07 А) с катушкой связи (2 витка) и измеритель напряженности поля.

Настройка оконечного каскада должна выявить отсутствие каких-либо скачков (по-

требляемого тока, напряженности поля), которые являются признаком присутствия нежелательных колебаний. Резонансы во всех точках должны быть устойчивыми. Если во время настройки выявлены точки нежелательных резонансов (что равноценно наличию паразитных колебаний), то устранить их можно несколькими способами:

экранированием каскадов для уменьшения паразитных связей;

изменением емкостей блокировочных конденсаторов;

снижением рабочей добротности колебательного контура;

применением емкостных связей вместо индуктивных.

Посредством оптимальной настройки выходной цепи получают максимальную мощность высшей гармоники. При этом варикап не должен быть перегружен термически (что приводит к максимальным потерям мощности) и по напряжению. Максимальное напряжение раскачки задано напряжениями U_Z и U_D (рис. 119). Это максимально допустимое напряжение раскачки может быть рассчитано по формуле:

$$P_{s\ddot{a}tt} \approx 0{,}125 \cdot \omega \cdot CO \cdot U^2_R, \qquad (40)$$

где $P_{s\ddot{a}tt}$ — мощность насыщения варикапа, CO — емкость варикапа при отсутствии подачи напряжения смещения.

Нагрузка варикапа должна составлять максимум 30% мощности насыщения. В настоящее время промышленность выпускает полупроводниковые приборы, рассчитанные на са-

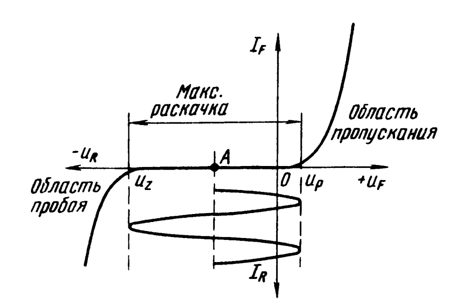


Рис. 119
Рабочая характеристика варикапа

мые различные рассеиваемые мощности, что позволяет моделистам с помощью варикапов получать выходную мощность 1 Вт, хотя благодаря значительно более высокому КПД антенны в УВЧ-диапазоне для управления моделью достаточно мощности несущей частоты, равной 50—100 мВт.

4.2.1.4. Антенны

Задача антенны — преобразовывать с высоким КПД генерируемые и передаваемые по проводникам в передатчике высокочастотные колебания в энергию электромагнитного поля и излучать ее в виде электромагнитных волн. При определенной энергии питания максимальные электрическое и магнитное поля можно получить тогда, когда колебательный контур возбуждается частотой, равной его собственной частоте, т. е. при резонансе.

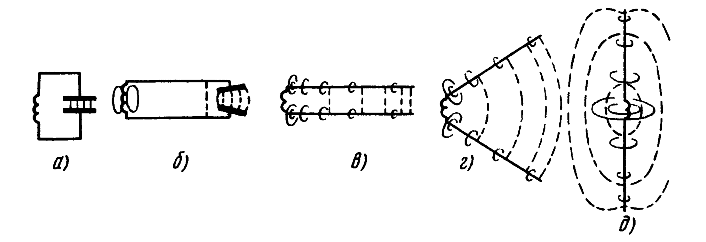
Катушки и конденсаторы из-за концентрации их полей излучать энергию не могут. Для излучения концентрированное поле должно быть преобразовано так, чтобы его си-

ловые линии занимали возможно большее пространство. Концентрированные схемные элементы для этого необходимо «растянуть», чтобы из закрытого колебательного контура получить открытый (рис. 120). В качестве открытого колебательного контура используют антенну. Ее поверхность играет роль обкладок конденсатора, а длина — роль провода катушки. Индуктивность и емкость больше не сконцентрированы, а распределены по длине антенны. По распределению поля антенны (рис. 120, *д*) можно судить о ее электрических характеристиках. Середина антенны обладает максимальным магнитным полем (что соответствует максимальной индуктивности), а концы антенны — максимальным электрическим полем (что соответствует максимальной емкости). По аналогии с конденсатором такую антенну называют поэтому диполем (двухполюсником).

Рис. 120
Преобразование закрытого колебательного контура в открытый: *а* — закрытый колебательный контур; *б* — конденсатор «открыт»; в — конденсатор и катушка преобразованы в высокочастотный проводник; *г* — из высокочастотного проводника получена антенна; *д* — диполь-антенна

Кроме того, распределение поля по длине антенны позволяет судить о распределении по ней тока и напряжения. Поскольку в случае антенны речь идет о колебательном элементе (об открытом колебательном контуре), ее электрические характеристики могут быть по аналогии описаны электрическими характеристиками закрытого колебательного контура. Распределение тока по длине антенны соответствует распределению магнитного поля, которое, как и ток, максимально в середине диполя. Говорят, что в середине диполя ток имеет «пучность» — максимум, а на концах — «узлы» — минимумы (рис. 121). Напряжение при распределении по длине антенны имеет «узел» в середине диполя, а «пучности» на его концах. Из рис. 121 видно, почему антенну называют полуволновым диполем или λ/2-диполем. Геометрическая длина этого излучателя при резонансе точно соответствует половине длины волны.

Для идеального случая можно считать, что антенна представляет собой бесконечно тонкую проволоку. Длина волны λ и частота *f* связаны соотношением



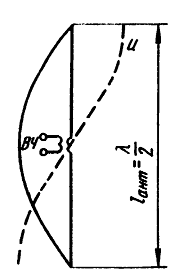


Рис. 121
Распределение тока i и напряжения U по длине полуволнового диполя

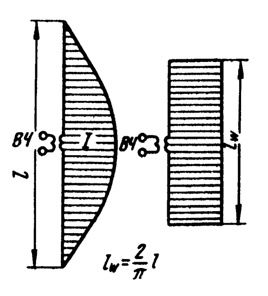


Рис. 122
Определение эффективной (действующей) длины антенны

$$c = f \cdot \lambda, \qquad (41)$$

где c — скорость распространения электромагнитных волн, величина которой для вакуума и воздуха постоянна и составляет около 300 000 км/с. Следовательно, для частот, используемых при дистанционном управлении моделями, длины антенн, в случае идеальных полуволновых диполей равные половине длины волны, составляют:

для частоты 13,56 МГц — 11,06 м;

для частоты 27,12 МГц — 5,53 м;

для частоты 433,92 МГц — 34,65 см.

Для понимания особенностей работы антенны необходимо знать ее важнейшие параметры.

Эффективная высота антенны
Для определения эффективной или действующей высоты антенны распределение тока по эффективной высоте антенны представляют прямоугольником, т. е. ток считают постоянным по всей длине антенны. При этом площадь, занимаемая этим прямоугольником, равна площади, занимаемой синусоидальным распределением тока (см. синусоиду I на рис. 122).

Таким образом, получают, что механическая высота антенны l больше ее действующей высоты l_W. Эти высоты связаны соотношением

$$l_W = \frac{2}{\pi} l = 0{,}636 \cdot l. \qquad (42)$$

Понятие эффективной высоты антенны необходимо для расчета других параметров антенны.

Мощность излучения антенны
Мощность излучения P_s заземленной штыревой антенны рассчитывают по уравнению

$$P_s \approx 1600 \left(\frac{l_W}{\lambda}\right)^2 \cdot I^2. \qquad (43,а)$$

Здесь I представляет собой эффективное значение тока в точке питания антенны. Из формулы (43, a) видно, что для линейного увеличения мощности

ток питания антенны должен возрастать квадратично.

Для мощности излучения диполя существует формула:

$$P_s \approx 800 \left(\frac{l_W}{\lambda}\right)^2 \cdot I^2. \qquad (43,б)$$

Если формулы (43) сравнить с формулой мощности из электротехники $P=R\,I^2$, то видно, что выражение перед I^2 соответствует сопротивлению.

Уравнения, определяющие сопротивление излучения антенны:

$$R_s \approx 1600\left(\frac{l\,W}{\lambda}\right)^2 \text{ для штыревой антенны;} \qquad (44,а)$$

$$R_s \approx 800 \left(\frac{l_W}{\lambda}\right)^2 \text{для диполя } (44,б),$$

называются также уравнениями Рюденберга.

Теоретическое значение этого параметра для настроенной штыревой антенны составляет $R_s=36{,}6$ Ом, а для настроенного диполя $R_s=73{,}2$ Ом. Эти значения справедливы для бесконечно тонких антенн, расположенных бесконечно высоко над землей. Но так как антенна состоит из материала конечной толщины, сопротивление излучения ее тем больше, чем толще антенна по отношению к длине волны. Поэтому у нормальной дипольной антенны следует принимать не $R_S=73{,}2$ Ом, а $R_S=60$ Ом (нормированное значение для волнового сопротивления антенного провода). Под *сопротивлением излучения антенны* понимают эквивалентное сопротивление в точке подключения антенны, потребляющее производимую током антенны активную мощность, которая соответствует мощности излучения.

Поскольку антенна является колебательным элементом, на нее можно распространить закономерности, справедливые для колебательного контура, и с их помощью получить теоретические и практические выводы. Поведение антенны, как колебательного элемента, описывается уравнением:

$$\Xi_A = R_A \cdot JX_A. \qquad (45)$$

В зависимости от длины антенна ведет себя как индуктивное, емкостное или активное (омическое) сопротивление. В случае настройки, или резонанса, входное сопротивление является активным При этом антенна ведет себя как последовательный или параллельный колебательный контур. При резонансе активное сопротивление представляет собой сумму сопротивления излучения R_S и сопротивления потерь в антенне R_V:

$$R_A = R_S + R_V. \qquad (46)$$

КПД антенны

Для повышения КПД антенны сопротивление ее излучения должно быть по возможности больше по отношению к сопротивлению потерь. Потери мощности вызываются, главным образом, сопротивлением материала антенны, недостаточно надежной изоляцией антенны

по отношению к корпусу и заземлением. Сопротивление излучения, отнесенное к активному сопротивлению антенны, характеризует КПД антенны:

$$\eta_A = \frac{R_S}{R_S + R_V}. \quad (47)$$

КПД антенны тем меньше, чем меньше сопротивление излучения антенны при тех же потерях. Антенна должна быть настроена на резонанс, так как входное сопротивление тогда максимально и имеет реальное значение. Входное сопротивление антенны в общем случае имеет согласно уравнению (45) комплексное выражение и обозначается, как и полное сопротивление антенны, Z_A. Мнимая часть $j \cdot X_A$ полного сопротивления антенны выражается уравнениями:

$jX_A = -j \cdot Z_A \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\pi l}{\lambda}$ для штыревой антенны, (48,а)

$jX_A = -j \cdot Z_D \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi l}{\lambda}$ для диполя, (48,б)

где Z_D — волновое сопротивление диполя, Z_A — волновое сопротивление штыревой антенны.

Волновое сопротивление штыревой антенны можно принять равным

$$Z_A = 60 \cdot \ln 1{,}15 \cdot \frac{l}{d}, \quad (49,а)$$

а для диполя:

$$Z_D = 120 \ln 0{,}575 \frac{l}{d}, \quad (49,б)$$

где l — длина антенны в см, d — диаметр антенного штыря в см, Z_A и Z_D в Ом.

Уравнения (48) и (49) позволяют получить точные характеристики антенны в зависимости от ее длины. Для укороченной ($l<\lambda/4$) штыревой антенны отрицательное значение котангенса в уравнении (48, *б*) дает емкостное реактивное сопротивление. Укороченная штыревая антенна имеет, следовательно, емкостное входное сопротивление, компенсируемое удлинительной катушкой. При $l=\lambda/4$ мнимая часть равна нулю, при длине антенны $\lambda/4<l<\lambda/2$ она индуктивна и при $l=\lambda/2$ снова равна нулю. Четвертьволновую ($\lambda/4$) штыревую антенну можно сравнить с последовательным колебательным контуром, находящимся в резонансе с потерями. Сопротивление потерь представляет собой входное сопротивление, равное $R_A \approx 30$ Ом.

Полуволновая ($\lambda/2$) антенна ведет себя как находящийся в резонансе параллельный колебательный контур.

Коэффициент укорочения

Сказанное выше справедливо для случая, когда антенна выполнена из бесконечно тонкой проволоки. Но в практике управления моделями на расстоянии используют телескопические антенны, имеющие конечную поверхность, которую необходимо учитывать.

Емкость антенны можно представить ее внешней поверхностью, индуктивность — длиной. Если емкость антенны

увеличить за счет увеличения ее поверхности, то для сохранения условий резонанса индуктивность антенны должна быть уменьшена. Но это означает, что длина антенны должна быть меньше теоретической. Для антенн, используемых в аппаратуре дистанционного управления моделями, коэффициент укорочения принимают равным 0,95. Ниже указаны длины антенн, принятые в практике моделизма:

Таблица 9

Длина антенн, принятая в моделизме, м

Тип антенны	Рабочая частота, МГц	
	13,56	27,12
Антенна, длина которой равна длине волны	22,12	11,06
Четвертьволновая антенна	5,25	2,62
Полуволновая антенна	10,50	5,25

Как видно из табл. 9, антенны-диполи, длины которых равны длине волны для частот 13,56 и 27,12 МГц, неприемлемы для портативных передатчиков из-за их большой длины. Лишь длина 2,62 м четвертьволновой антенны, рассчитанной для работы в диапазоне 27,12 МГц, является имеющим смысл решением, но даже такую антенну использовать очень трудно. Антенны, используемые в моделизме, имеют длину 1,0—1,8 м, т. е. антенны передатчиков почти всегда представляют собой укороченные четвертьволновые антенны.

При разработке четвертьволновых антенн необходимо принимать во внимание следующее. В точке питания диполя расположены «пучность» тока и «узел» напряжения (см. рис. 121). Соответствующее электромагнитное поле антенны симметрично. Через точку питания перпендикулярно к диполю можно расположить плоскость идеальной проводимости, не изменяя распределения поля антенны (рис. 123). Теперь, не оказывая влияния на расположенное выше этой плоскости поле, нижнюю половину диполя можно удалить, при этом уменьшаются вдвое только мощность и сопротивление излучения. Это явление используют в аппаратуре дистанционного управления моделями, так как земную поверхность при некоторых допущениях можно принять за хорошо проводящий слой. Следовательно, антенна передат-

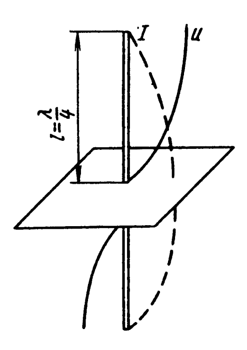


Рис. 123
Принцип получения штыревой антенны (четвертьволновой)

чика такой аппаратуры представляет собой заземленную (симметричную относительно земли) штыревую антенну, которая при вертикальной ее установке излучает вертикально поляризованные волны.

Если антенну установить над землей, например на авиамодели, то она будет представлять собой ассимметричную антенну, а большую хорошо проводящую поверхность (землю) следует при этом заменить металлической, возможно более вытянутой металлической деталью.

Сопротивление заземления при работе антенны проявляется как сопротивление потерь. Но это означает, что сопротивление заземления, если только на него можно оказывать влияние, должно быть снижено. Отсюда вывод: корпус передатчика следует изготавливать по возможности из металла и обеспечивать хороший контакт между корпусом и землей. Таким образом, корпус передатчика является составной частью передатчика и оказывает значительное влияние на излучаемую мощность высокой частоты.

Что касается конструкции передатчика, то высокочастотный блок должен быть возможно меньше удален от антенны, т.е. точку питания антенны располагают очень близко к точке установки антенны на передатчике. Длинные проводники повышают потери, так как они не участвуют в излучении. Корпус передатчика в точке, близко прилегающей к вводу антенны, соединяют толстым медным проводом с массой высокочастотного блока.

Так как корпус передатчика представляет собой своеобразную вторую половину диполя, короткие с хорошей проводимостью проводники также являются условием надежной работы передатчика. Корпус передатчика должен быть соединен с массой всей схемы **только в одной точке**. Этой точкой может быть точка вблизи ввода антенны: «холодный конец» катушки связи или «холодный конец» последнего конденсатора П-фильтра, согласующего антенну. Схема передатчика больше не должна иметь никаких других точек контакта с корпусом. При появлении таких контактов часто образуются паразитные колебания (высокочастотные мерцания).

Оптимальное согласование антенны и хорошее заземление оказывают прямое влияние на дальность действия передатчика. Но эта дальность зависит и от других факторов, как это видно из диаграмм направленности штыревой антен-

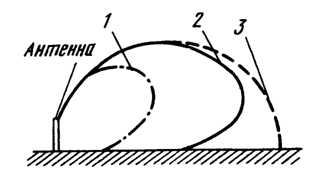


Рис. 124
Диаграммы направленности штыревой антенны при различных проводимостях земной поверхности: *1* — плохо проводящая земля, *2* — нормальная проводимость, *3* - земля с идеальной проводимостью

ны при различных сопротивлениях заземления и переходных сопротивлениях в месте заземления (рис. 124). Например, на водной поверхности и при влажном грунте дальность действия сильно возрастает.

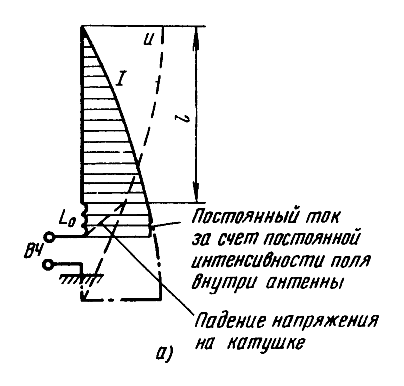
Другая проблема вызвана слишком малой длиной штыревой антенны для работы на частоте 27,12 МГц. По уравнению (44) при укороченной антенне сопротивление излучения падает, но для получения высокого КПД антенны, как это видно из уравнения (47), необходимо при заданном сопротивлении потерь стремиться к большому сопротивлению излучения. Слишком короткая и обладающая большой емкостью антенна должна быть «удлинена» электрически. Емкостное реактивное сопротивление можно компенсировать индуктивностью, удлинительной катушкой. Антенна, настроенная на резонансную частоту, снова будет иметь сопротивление излучения около 35 Ом, которое может быть легко согласовано с помощью П-фильтра.

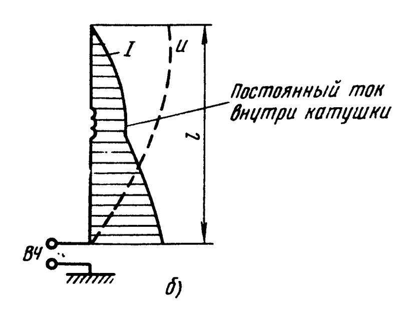
На практике оправдали себя два варианта включения удлинительной катушки: в точке ввода и в середине антенны. В последнем случае удлинительную катушку называют также *CLC*-катушкой (от английского *Central—Loading—Coil*). Наиболее эффективной точкой включения дополнительной индуктивности является точка ввода антенны, так как через нее течет максимальный ток.

Удлинительная катушка должна иметь по возможности большую добротность. Чтобы антенну можно было точно настроить на резонансную частоту, катушку чаще всего выполняют с подстроечником. Расположение удлинительной катушки у точки ввода антенны обеспечивает простоту ее установки и удобство настройки даже во время управления моделью, но значительно снижает эффективную высоту антенны, так как из-за установки катушки часть поля антенны остается сконцентрированной внутри передатчика и поэтому не излучается (рис. 125).

Более выгодно устанавливать удлинительную катушку не в точке ввода антенны, а в середине антенны, так как это значительно улучшает ее характеристики излучения. Это видно из сравнения обоих вариантов установки катушки. Так как ток в середине антенны меньше тока в точке ее ввода, *CLC*-катушка должна иметь более высокую индуктивность (т. е. большее число витков), чем катушка, устанавливаемая в точке ввода антенны. *CLC*-катушка имеет 30 витков медной, покрытой эмалью проволоки диаметром 1 мм, намотанной на изоляционный каркас диаметром 20 мм, изготовленный из поливинилхлорида или пиакрила.

Чтобы применить *CLC*-катушку и использовать ее электрические преимущества, приходится преодолевать конструктивные сложности. Катушка не должна изменять свою геометрию и в то же время быть легкой. Другими словами,





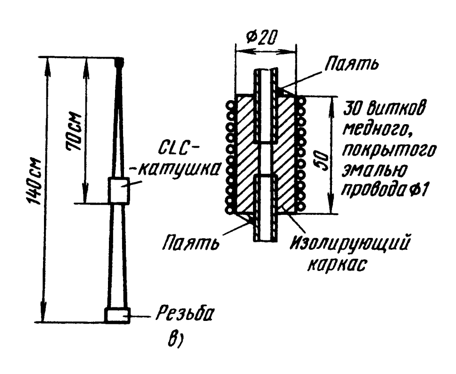


Рис. 125
Антенные удлинительные катушки. *а* — катушка, установленная в точке ввода антенны; *б* - катушка, установленная в середине антенны (*CLC*-катушка); *в* - конструкция катушки, установленной в середине антенны

она должна обеспечивать постоянство своих электрических характеристик (индуктивность, надежный контакт) и при этом не перегружать тонкую антенну. Моделист должен находить компромиссное решение, учитывающее преимущества и недостатки того или иного варианта.

Уравнения (42) — (47) справедливы для идеально заземленной ' штыревой антенны, т. е. для штыревой антенны, имеющей большой «противовес» в отношении к длине волны. Корпус передатчика аппаратуры дистанционного управления моделями, а также емкости рук и корпуса моделиста образуют небольшой «противовес». Поэтому искусственно удлиненная антенна более чувствительна к расстройке, возникающей при приближении к проводящим поверхностям, которыми, например, являются моделист и его помощники.

В процессе настройки передатчик необходимо крепко держать в руках, чтобы во время управления моделью в определенной мере сохранить постоянной емкость, образуемую руками и корпусом моделиста. Если же настройку проводить при свободно стоящем приемнике, то при управлении моделью антенна расстраивается и мощность излучения сильно падает. Если же измеритель напряженности поля в случае свободно стоящего передатчика индуцирует напряженность, большую чем тогда, когда передатчик крепко держат в руках, это не должно вводить в

заблуждение. Если свободно стоявший при настройке передатчик взять в руки и измерить напряженность поля при том же самом направлении излучения и на том же самом расстоянии, то значение этой напряженности будет значительно меньше, чем у передатчика, который при настройке крепко держали в руках.

Сравнимые выводы о мощности излучения передатчика можно сделать только при замере напряженности поля на расстоянии, по крайней мере равном 4·λ от передатчика. Оптимальную настройку передатчика и антенны получают, когда этот процесс производят в условиях, которые имеют место при управлении моделью (передатчик крепко зажат в руках, замер напряженности поля ведется на достаточно большом расстоянии).

Так как условие $S>4\cdot\lambda$ (S — расстояние между передатчиком и измерителем напряженности поля) моделисту выполнить трудно, процесс настройки следует производить, по меньшей мере, при $S=1\cdot\lambda\approx$ ≈ 10 м. Измеритель напряженности поля, установленный на расстоянии 1—2 м от передатчика, не регистрирует изменения поля, тогда как именно это изменение имеет значение для управления моделями. Кроме того, из-за относительно малого «противовеса» передатчика, сопротивление излучения уменьшается до значения, меньшего рассчитанной величины. Поэтому приведенные в разделе 4.2.1.2 расчеты дают лишь приближенные значения.

В полосе частот 27,12 МГц чаще всего применяют искусственно удлиненные четвертьволновые штыревые антенны. Но так как каждый сантиметр длины антенны увеличивает ее КПД и, следовательно, повышает мощность ее излучения, штырь антенны следует делать как можно длиннее. Обычно применяют телескопические антенны длиной от 1,2 до 1,5 м. Для обеспечения надежного управления моделью следует применять по возможности самые длинные и самые прочные антенны. Использование для передатчика антенны, имеющей длину, например 1 м, равносильно работе с малым КПД при сниженной мощности высокой частоты.

Затруднительно — но уже с другой точки зрения — конструирование антенны для работы в УВЧ-диапазоне. Электрически самым выгодным решением, которое может обеспечить наилучшее согласование с каскадом усиления мощности и не требует никакого «противовеса», является полуволновой диполь. Но так как передатчик должен иметь круговую диаграмму направленности, диполь должен быть установлен вертикально. Однако держать так передатчик неудобно. Для электрических характеристик еще более выгодна директорная антенна, но из-за своей диаграммы направленности она неудобна в обращении. Эту антенну необходимо постоянно направлять на модель. Поэтому, хотя штыревая антенна электрически несколько менее выгодна для УВЧ-передатчика,

она остается более удобной для него.

Антенна длиной 5/8 волны имеет более выгодные характеристики излучения, чем четвертьволновая антенна. Для УВЧ-передатчика она должна иметь длину около 43 см и, таким образом, сравнима по удобству обращения с антенной, рассчитанной для работы в полосе частот 27,12 МГц. К другим преимуществам штыревой антенны длиной 5/8 волны относятся ее входное сопротивление, составляющее примерно 60 Ом, и нечувствительность к величине «противовеса». Емкостная составляющая этой антенны в определенной мере компенсируется катушкой, установленной в точке ввода антенны

Волны диапазона 25-150 МГц распространяются практически на дальность оптической видимости. За счет дифракции и рефракции в плотных воздушных слоях дальность радиовидимости может быть примерно на 20% больше дальности оптической видимости. Радиовидимость рассчитывают по формуле

$$S_R = 4{,}12(\sqrt{h_S} + \sqrt{h_E}), \quad (50)$$

где S_R — радиовидимость в км, h_S — высота антенны передатчика в м, h_E — высота антенны приемника в м.

Для судовых и летающих вблизи земли авиационных моделей, для которых $h_S = 2{,}5$ м и $h_E = 1$ м, дальность радиовидимости составляет $S_R = 10{,}95$ км. Даже если радиовидимость уменьшена за счет экранирующего действия различных препятствий, она достаточна для надежного управления этими моделями. При расчете мощности излучения передатчика ее относят к мощности излучения полуволнового диполя. Его КПД η_A равен 1. Но так как передатчики работают с укороченными антеннами, то в зависимости от длины антенны значение η_A составляет чаще всего от 0,2 до 0,5. Удлинительная катушка, установленная в точке ввода антенны или в ее середине, улучшает настройку антенны и тем самым повышает ее КПД. Одновременно антенна становится более чувствительной к изменениям настройки, например при приближении к проводящим поверхностям, таким как стены, люди.

Как уже было сказано, мощность излучения может быть рассчитана лишь приближенно, и отклонения ее значений от результата расчета зависят от условий работы. В направлении основного излучения (перпендикулярно к штырю антенны) полуволновой диполь в свободном пространстве генерирует напряженность поля, равную

$$E_0 = \frac{7\sqrt{P_S}}{R}, \quad (51)$$

где E_0—напряженность поля в свободном пространстве в В/м, P_S — мощность излучения в Вт, R — расстояние в м.

Уравнение (51) справедливо только для случая свободного пространства. Но так как

модели находятся также и на земле и около нее, необходимо учитывать отражения от земной поверхности, которые уменьшают значения E_0, рассчитанные по уравнению (51). Для частот выше 25 МГц земную поверхность можно рассматривать как хорошо проводящую поверхность. Приходящая волна отражается, как от зеркала, без потерь, и при этом происходит поворот ее фазы на 180°. Но после отражения волна распространяется далее в противофазе к исходной волне (рис. 126). В результате этого на приемную антенну приходят два сигнала передатчика: прямой и отраженный. Если бы расстояния S_1 и S_2 были равны, то в точке E прямой и отраженный сигналы — из-за поворота фазы последнего на 180° — взаимно гасили бы друг друга. Только при различных расстояниях S_1 и S_2 (т. е. при различном времени распространения) в точке приема получают разность напряжений обоих сигналов. Эта разность тем больше, чем больше высоты h_S и h_E над уровнем земли.

Высота антенны оказывает большое влияние на дальность

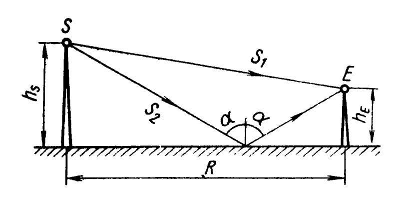


Рис. 126
Распространение УВЧ-волн вблизи земной поверхности

действия передатчика. С учетом условий отражения от земной поверхности и при отсутствии препятствий в пределах радиовидимости напряженность поля около приемника равна

$$E = \frac{7\sqrt{P_S} \cdot 4h_S \cdot h_E}{R^2 \cdot \lambda}, \qquad (52)$$

а при решении этого уравнения относительно расстояния получают

$$R = \sqrt{\frac{7\sqrt{P_S}\, 4\pi \cdot h_S \cdot h_E}{E \cdot \lambda}}.$$

При напряженности поля E напряжение $U_{\lambda/2}$ на полуволновом диполе в случае согласования по мощности составляет

$$U_{\lambda/2} = \frac{E \cdot \lambda}{2\pi}. \qquad (53)$$

Использование приведенных формул следует пояснить на примере.

Дано:

рабочая частота передатчика 27,12 МГц;

мощность излучения $P_S = 200$ мВт;

КПД антенны передатчика $\eta_{AS} = 0{,}3$;

высота антенны $h_S = 1{,}5$ м;

чувствительность приемника $U_E = 4$ мкВ;

КПД антенны приемника $\eta_{AE} = 0{,}1$;

при минимальной высоте полета и максимальной дальности действия высота антенны приемника составляет $h_E = 5$ м.

Для перекрытия отклонений

антенны приемника от основного направления излучения коэффициент надежности принят равным 10.

Расчет:

По уравнению (53) получают

$$E = \frac{U_{\lambda,2}\cdot 2\pi}{\lambda} = \frac{4\ \text{мкВ}\cdot 2\cdot 3,14}{11,06} = 2,57\ \text{мкВ/м}.$$

С учетом коэффициента надежности 10 и $\eta_{AE}=0,1$ получают

$$E' = 257\ \text{мкВ/м}.$$

По уравнению (52) находят максимальное расстояние между передатчиком и приемником, т. е. дальность действия R:

$$R = \sqrt{\frac{7\cdot 200\ \text{мВт}\cdot 0,3\cdot 4\times 3,14\cdot 1,5\text{м}\cdot 5\text{м}\cdot\text{м}}{257\text{мкВ}\cdot 11,06\text{м}}} \approx 225\text{м},$$

а при $h_E=50$ получают: $R\approx 680$ м.

Этот расчет позволяет сделать следующие выводы:

повышение мощности излучения для увеличения дальности действия нерентабельно (в моделизме), так как, чтобы увеличить дальность действия вдвое, мощность согласно уравнению (52) необходимо повысить в 16 раз;

особое внимание моделистов должно быть обращено на высоту и качество выполнения антенны (настройка, усиление антенны), так как на эти параметры можно воздействовать простыми средствами;

дальность действия командной радиолинии в большой мере зависит от чувствительности приемника, которая определяется характеристиками антенны приемника (ее настройкой, усилением, согласованием), коэффициентом шума входного каскада, полосой пропускания приемника и типом модуляции;

чем больше длина волны, тем меньше согласно уравнению (52) дальность действия и тем хуже согласно уравнениям (44) и (47) КПД антенны.

4.2.1.5. Модуляция

Выше уже были рассмотрены основные функции передатчика, такие как кодирование команд, генерирование высокой частоты и излучение. Но чтобы закодированную команду излучить в пространство в форме электрического сигнала, команда должна быть определенным образом наложена на высокочастотное колебание. Это наложение информации на высокую частоту называется модуляцией. Высокочастотное колебание описывается математическим выражением

$$u(t) = \hat{u}\cdot\cos(\omega_{HF}t + \varphi), \qquad (54)$$

где $u(t)$ — мгновенное значение, $\hat{u}$ — амплитуда, $\omega_{HF}t$ — частота, φ — фаза.

В зависимости от того, какой из трех определяющих параметров несет информацию: амплитуда, частота или фаза,— говорят об амплитудной, частотной или о фазовой модуляции. Ниже рассмотрены основные физические закономерности этих типов модуляции и

их использование для дистанционного управления моделями.

Амплитудная модуляция

Наиболее старым и самым известным типом модуляции является амплитудная модуляция. В этом случае амплитуда несущей частоты изменяется в такт с низкой частотой, т. е. мощность излучения колеблется с частотой модуляции (рис. 127). Модулированное высокочастотное колебание описывается уравнением

$$u(t) = u \cdot \cos \omega_{HF} \cdot t \, (1 + m \cdot \cos \omega_{NF} t), \qquad (55)$$

из которого с помощью преобразования получают:

$$u(t) = \hat{u}[\cos \omega_{HF} t + \frac{m}{2} \cos(\omega_{HF} + \omega_{NF})t + \frac{m}{2} \cos(\omega_{HF} - \omega_{NF})t]. \quad (56)$$

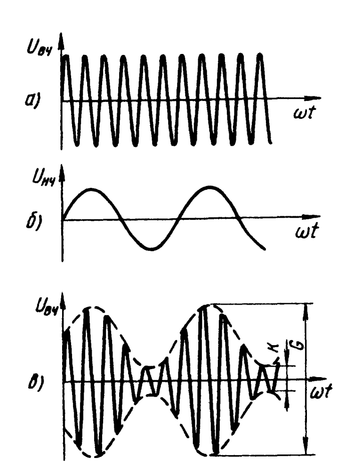


Рис. 127
Амплитудномодулированное высокочастотное колебание. *а* — немодулированная несущая частота; *б* — модулирующая низкая частота; *в* — модулированная несущая частота

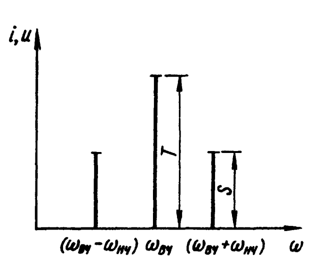


Рис. 128
Частотный спектр амплитудномодулированного высокочастотного колебания

Глубина модуляции характеризуется коэффициентом модуляции *m*, который находят по соотношению

$$m = \frac{G - K}{G + K} \cdot 100\%. \qquad (57)$$

(Значения *G* и *K* понятны из рис. 127).

Из уравнения (56) видно, что модулированное колебание наряду с несущей частотой ω_{HF} содержит также две боковые полосы: $\omega_{HF}+\omega_{NF}$ и $\omega_{HF}-\omega_{NF}$. При этом собственно носителями информации являются боковые полосы, но их амплитуды равны только половине амплитуды высокочастотного колебания (рис. 128).

Отсюда можно сделать важный вывод о модуляции несущей частоты передатчика: решающей для амплитуды сигнала при демодуляции в приемнике является лишь величина мощности боковой полосы P_{SB}, так как только она несет информацию. Для достижения максимальной дальности дей-

ствия мощность боковой полосы должна быть поэтому как можно большей. При той же мощности несущей частоты мощность боковой полосы максимальна при $m = 1$, т. е. при 100%-ной модуляции, из-за чего и следует стремиться к работе передатчика при таком коэффициенте модуляции. Уравнение (56) позволяет сделать еще один вывод. Частотный спектр амплитудномодулированной несущей частоты содержит верхнюю и нижнюю боковые полосы пропускания B_{NF}. Т. е. для полосы пропускания по высокой частоте справедливо соотношение

$$B_{HF} = 2B_{NF}. \qquad (58)$$

Другими словами, полоса пропускания по высокой частоте, необходимая для передачи сигналов, должна быть вдвое больше, чем полоса пропускания по низкой частоте.

По международным правилам полоса частот 27,12 МГц разбита на каналы шириной 20 (30) кГц (см. табл. 2). Но для расчета полосы пропускания передатчика за основу необходимо принимать наименьшую необходимую для передачи информации полосу пропускания, которая должна лежать в пределах, определенных законом. В ГДР эти пределы для полосы частот 27,12 МГц составляют ±0,6%.

При определении полосы пропускания по высокой частоте за основу приняты законодательные определения относительно переносной радиотелефонной аппаратуры, хотя закон этого и не требует. Чтобы максимально использовать полосу частот для радиотелефонной аппаратуры при разбивке от каналов шириной 20 кГц перешли к каналам шириной 10 кГц. Максимальная ширина полосы передатчика должна составлять 8 кГц. Следовательно, интервал надежности между соседними передатчиками составляет 4 кГц. При дистанционном управлении моделями такой интервал надежности означает, что для одного канала управления в распоряжении имеется полоса частот по высокой частоте $B_{HF} = 18$ кГц. По низкой частоте это соответствует полосе $B_{NF} = 9$ кГц. Следовательно, при такой разбивке на каналы нельзя передавать низкие частоты выше 9 кГц.

При использовании узкополосной цифровой аппаратуры с шириной канала 15 кГц (см. табл. 3) полоса пропускания B_{HF} уменьшается до 13 кГц, а B_{NF} — до 6,5 кГц. Современная цифровая аппаратура эту полосу частот даже полностью не использует. Если проанализировать цифровой сигнал, представленный на рис. 33, то можно видеть, что импульсы манипуляции, имеющие длительность 0,2 мс и минимальное расстояние между импульсами 1,0 мс, характеризуются основной частотой 1 кГц. Благодаря сглаживанию фронтов импульсов доля высших гармоник сильно уменьшена, за счет чего для надежного воспроизведения сигнала достаточно передачи высших гармоник от первого до четвертого порядка.

Ширина четвертой высшей гармоники равна $5 \cdot f_0 = 5$ кГц, поэтому полоса пропускания B_{NF} составляет максимум 5 кГц. Но в основном передатчик генерирует импульсы, имеющие длительность 1,6 мс, когда ручка управления находится в среднем положении. Полное отклонение ручки случается редко и то лишь на одном из каналов, максимум одновременно на двух каналах, т. е. для практики вполне допустимо рассчитывать на среднюю длительность импульсов 1,6 мс. Тогда для последовательности импульсов получают основную частоту примерно 625 Гц, а соответствующая полоса пропускания до четвертой гармоники должна быть равна $B_{NF} \approx 3{,}125$ кГц. Таким образом, с хорошим приближением B_{NF} можно принять равной 3,5 кГц. В результате интервал надежности, принятый вначале равным 4 кГц, даже при узкополосной работе передатчика при ширине канала 15 кГц увеличился до 9 кГц.

Такой интервал надежности снижает перекрестные помехи между каналами и в том случае, когда кварцы невысокого качества, давая возможность работать одновременно двум комплектам аппаратуры дистанционного управления на двух соседних каналах, например на 27-м и 28/29-м, без появления взаимных помех.

Аппаратура дискретного дистанционного управления с амплитудной модуляцией требует более широкой полосы пропускания, чем цифровая (см. табл. 6). Следовательно, преимуществом цифровой аппаратуры является по сравнению с дискретной не только более совершенное (пропорциональное) управление, но и более полное использование полосы пропускания. Благодаря этому преимуществу в полосе частот 27,12 МГц возможна одновременная работа 19 комплектов узкополосной аппатуры (см. табл. 3).

Модуляция несущей частоты производится в низкочастотном или в импульсном блоке передатчика. Модулирующий сигнал может быть, в принципе, подан всюду туда, где он может воздействовать на амплитуду несущей частоты, т. е. в любой высокочастотный каскад (в генератор высокой частоты, предоконечный или оконечный каскад), на базу, эмиттер или коллектор транзистора, на котором собран этот каскад.

Различные варианты модуляции имеют определенные преимущества и недостатки, как это показано ниже на примере некоторых схемных решений.

Различают модуляцию с повышением и модуляцию с понижением. В первом случае амплитуда модулированной высокой частоты больше амплитуды этой немодулированной частоты (рис. 129, *а*). На первый взгляд этот тип модуляции кажется наилучшим, так как при полной модуляции ($m=1$) выходная мощность в четыре раза больше мощности при отсутствии модуляции. Но это требует дополнительных схемных элементов (модуляционного трансформатора). Поэтому в передатчиках для аппара-

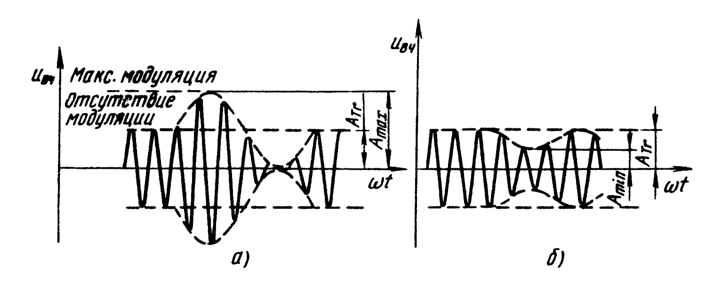


Рис. 129
Типы модуляции: *а* — модуляция с повышением; *б* — модуляция с понижением

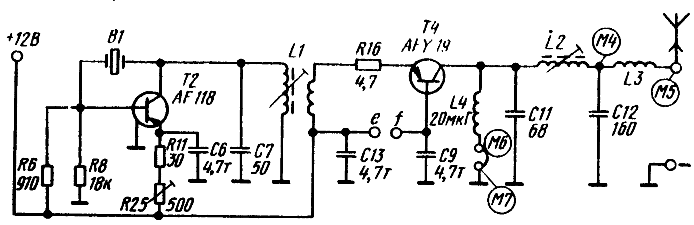
туры дистанционного управления моделями, как правило, используют модуляцию с понижением, при которой мощность при полной модуляции равна мощности при отсутствии модуляции (рис. 129, *б*).

В качестве примера модуляции с повышением следует рассмотреть схему высокочастотного блока для передатчика *Variophon 2* (рис. 130.) Каскад усиления мощности, собранный на транзисторе *T4*, работает по схеме с общей базой. Модулирующий сигнал подается на базу транзистора *T4* через трансформатор *L1*. Этот вариант схемы требует дополнительных схемных элементов и точной настройки на рабочую точку, чтобы исключить модуляционные искажения. В других передатчиках он не применяется.

Если модуляционный трансформатор заменить модуляционным транзистором, то транзистор одновременно будет работать и как модуляционный усилитель. Такой модуляционный усилитель может быть включен в цепь базы, эмиттера или коллектора высокочастотного транзистора. С его помощью возможна также и синусоидальная модуляция, но только с повышением.

При использовании транзистора для модуляции стремятся к работе в импульсном или в дискретном режиме. Это объясняется следующим: так как в большинстве случаев сигнал более или менее сильно ограничивается в приемнике, точная синусоидальная демодуляция невозможна. Следовательно, сигнал можно ограничить

Рис. 130
Двухкаскадный высокочастотный блок передатчика *Variophon 2*. Катушки *L1*, *L2* диаметром 7 мм, с подстроечниками, имеют по 8,5 витка. Катушка *L3* диаметром 8 мм имеет 21 виток на длине 15 мм. Все катушки намотаны медным покрытым эмалью проводом диаметром 0,4 мм. Модуляционный трансформатор подключен к точкам *e*, *f*



уже в модуляторе и за счет этого получить два решающих преимущества. Во-первых, отпадает необходимость в точной настройке на рабочую точку (упрощение за счет прямой межкаскадной связи), и, во-вторых, модуляционный транзистор работает как ключ (снижение мощности потерь).

Такой метод модуляции использован в передатчике для аппаратуры дистанционного управления *Start* (рис. 131). Модуляционный транзистор *T4* включен последовательно с транзистором *T6* каскада усиления мощности. Конденсаторы *C6* и *C11* связывают эмиттер транзистора *T6* по высокой частоте с массой. В остальном высокочастотный блок этого передатчика точно соответствует блоку, показанному на рис. 130. В соответствии с положениями, приведенными ранее, генератор собран по стандартной схеме, а каскад усиления мощности имеет П-фильтр.

Особенностью передатчика аппаратуры *Start* является транзистор *T7*. Так как передатчик аппаратуры дистанционного дискретного управления излучает несущую частоту только при подаче команды, в паузах между командами он может быть выключен. Эту задачу и выполняет транзистор *T7*, на базу которого через второй контакт соответствующего канального ключа подается положительный потенциал. При этом напряжение питания поступает на передатчик только тогда, когда производится передача команд. Рассмотренная схема обеспечивает экономию тока, так как передатчик потребляет полную мощность только во время передачи команд, оптимально используя емкость встроенных батарей (три батареи типа *3R12*).

В цифровых передатчиках, имеющих значительно большее потребление мощности, этот способ не применяют, так как здесь между передатчиком и приемником должен поддерживаться постоянный радиоконтакт с помощью непрерывно повторяемых последовательностей испульсов.

То, что модуляцию можно успешно осуществить в оконечном каскаде посредством включения модуляционного

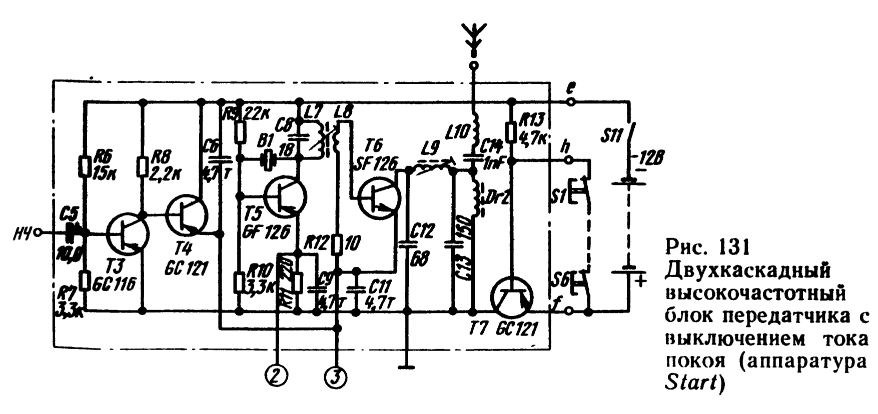


Рис. 131
Двухкаскадный высокочастотный блок передатчика с выключением тока покоя (аппаратура *Start*)

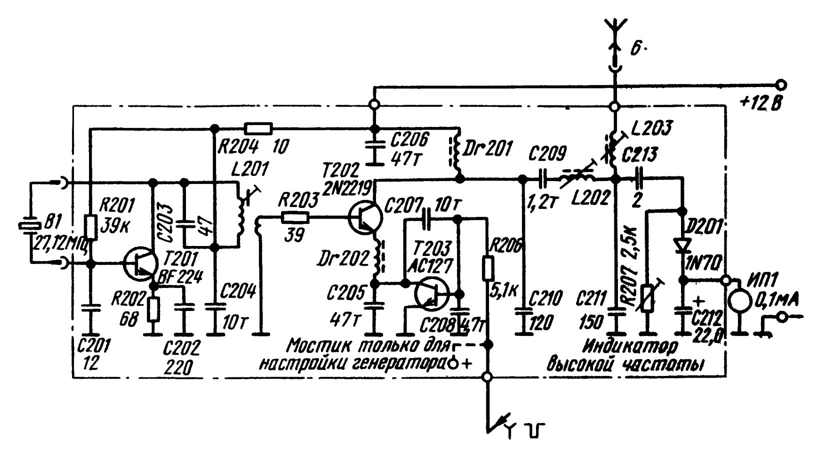
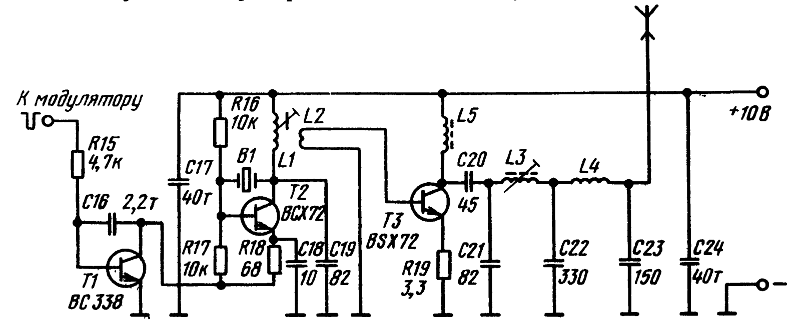


Рис. 132
Двухкаскадный высокочастотный блок передатчика с модуляцией в оконечном каскаде (аппаратура *Varioprop 12*)

транзистора в эмиттерную цепь транзистора оконечного каскада, доказывает работа высокочастотного блока для передатчика *Varioprop 12* (рис. 132). Блок собран на печатной плате, экранирован и вместе с гнездом включения антенны размещен в передатчике. О схеме для индикации выходной мощности будет сказано ниже.

Несмотря на дискретный режим работы при выходной мощности 500 мВт, модуляционный транзистор приводит к появлению значительной мощности потерь. Поэтому в передатчиках цифровой аппаратуры модуляцию лучше осуществлять в предоконечном каскаде, там для этого достаточна меньшая мощность.

Рис. 133
Двухкаскадный высокочастотный блок передатчика с модуляцией в каскаде генератора (аппаратура *Multiplex-Mini 2*). Катушка *L1/2*, с подстроечником, имеет 12/4 витка провода диаметром 0,5 мм; катушка *L3*, с подстроечником,— 9 витков провода диаметром 0,8 мм и катушка *L4* — 12 витков провода диаметром 1 мм. Диаметр катушек 7 мм, намотка медным покрытым эмалью проводом. Дроссель *L5* имеет индуктивность 20 мкГ. Антенна снабжена удлинительной катушкой, установленной в ее середине



Во многих передатчиках промышленного и самостоятельного изготовления модуляция производится в каскаде генератора высокой частоты. В высокочастотном блоке для передатчика *Mini 2* (рис. 133) транзистор модулятора *T1* включен последовательно с транзистором схемы генератора *T2* и кратковременно (примерно на 0,2 мс) запирается отрицательными импульсами моностабильного мультивибратора импульсного блока. За счет этого транзистор *T1* на такое же время отключает транзистор генератора *T2* от напряжения питания и прекращает высокочастотные колебания. Излучение высокой частоты прерывается в такт с импульсами манипуляции, т. е. высокая частота модулируется. Таким способом при потреблении относительно малой мощности и при небольшом количестве схемных элементов возможно получение 100%-ной модуляции. Но для этого транзистор схемы генератора должен обладать очень хорошими высокочастотными характеристиками.

Благодаря полному отключению транзистора *T2* (что соответствует $m=1$) ток базы также при этом прекращается. *RC*-цепочка *R15, C16* на входе транзистора *T1* искажает фронты импульсов. Из-за этого сглаживания импульсов (а моностабильный мультивибратор генерирует импульсы правильной прямоугольной формы) ширина полосы высокочастотного сигнала значительно сужается. В цифровом передатчике может быть реализована полоса пропускания по низкой частоте $B_{NF}\approx 3{,}5$ кГц. Сглаживание фронтов импульсов не сказывается отрицательно на работе аппаратуры дистанционного управления и обеспечивает оптимальное использование полосы частот, отведенной для управления моделями.

Модуляция в каскаде генератора использована также в передатчике аппатуры *Start dp* (рис. 134). Но здесь сделан еще один шаг по пути к упрощению схемы — модуляционный транзистор отсутствует. Его функции выполняет второй транзистор в каскаде формирователя импульсов. Генератор, следовательно, является нагрузочным сопротивлением для коллектора моностабильного мультивибратора (см. рис. 38).

Этот вариант схемы используют редко, так как многофункциональные каскады (формирование импульсов и модуляция) трудно выполнимы. Данный метод модуляции применим при относительно небольших выходных мощностях, составляющих примерно 250 мВт. Других особенностей высокочастотный блок не имеет.

Рабочую точку генератора устанавливают с помощью резистора *R40*. Каскады генератора и усиления мощности имеют индуктивную связь. Для эффективного подавления высших гармоник в цепи коллектора транзистора *T12* установлен двойной П-фильтр. Антенна передатчика, имеющая длину всего 1,1 м, настраивается в

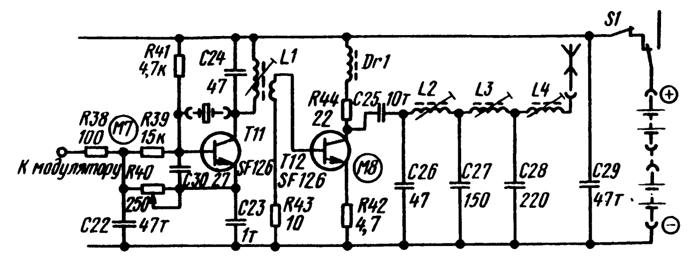
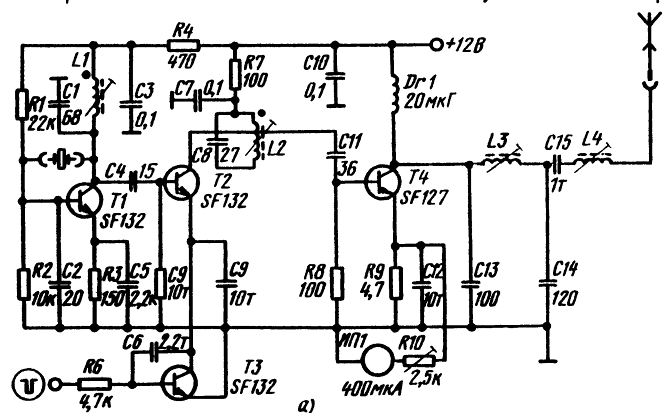
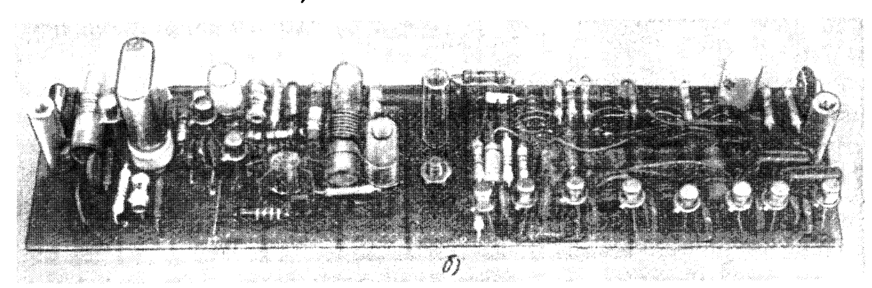


Рис. 134
Двухкаскадный высокочастотный блок передатчика с модуляцией в каскаде генератора (аппаратура *Start dp*). Питание от двух батарей 6 В емкостью 450 мА·ч каждая

Рис. 135
Трехкаскадный высокочастотный блок передатчика с модуляцией в предоконечном каскаде. *а* схема Все катушки, с подстроечниками, имеют диаметр 7 мм и намотаны медным покрытым эмалью проводом диаметром 0,5 мм. Катушка *L1* имеет 12 витков. *L2* - 5+5 витков, *L3* —8,5 витка и *L4* —15 витков. Индуктивность дросселя *Dr1* равна 20 мкГ Длина штыревой антенны — 1,50 м. *б* —плата в сборе

резонанс с помощью удлинительной катушки *L4*. Излучаемая мощность передатчика — значительно возрастает при шунтировании резистора *R42* конденсатором (5 тыс. пФ) и удлинении антенны до 1,4 м (нужно подстроить катушку





L4). За счет этого при том же потреблении тока увеличивают КПД передатчика и повышают дальность его действия (или улучшают отношение сигнал/помеха).

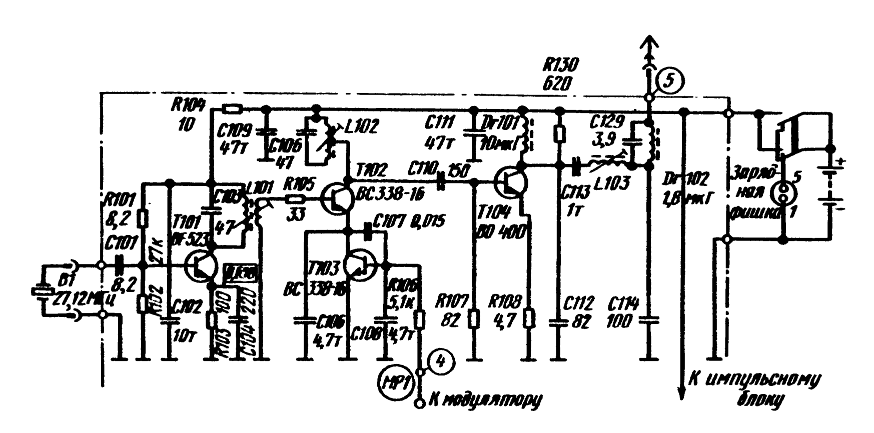
По мере увеличения выходной мощности до 0,8-1 Вт все чаще начинают применять трехкаскадные высокочастотные блоки. Такое решение, принимаемое в интересах обеспечения стабильности частоты и надежности работы на всех высокочастотных каналах, позволяет использовать генератор малой мощности. Чтобы улучшенные за счет применения трех каскадов характеристики генератора снова затем не ухудшить при модуляции в этом каскаде, в трехкаскадных передатчиках ее осуществляют в предоконечном каскаде. Преимущество модуляции, осуществляемой в каскаде генератора (малая потребляемая мощность, коэффициент модуляции $m = 1$), сохраняется при модуляции в предоконечном каскаде.

В трехкаскадном высокочастотном блоке (рис. 135) каскады имеют индуктивную связь, которую можно регулировать. Предоконечный и оконечный каскады работают в режиме С. Развязка каскадов по отношению друг к другу осуществлена с помощью *RC*-цепочек *R4, C3* и *R7, C7*. Этот высокочастотный блок рассчитан для работы вместе с импульсным блоком, показанным на рис. 35.

На примере высокочастотного блока для передатчика *Varioprop 8S* (рис. 136) можно видеть, как высказанные выше положения применяются в современной промышленной аппаратуре дистанционного управления. Генератор, собранный на транзисторе *T101*, работает по стандартной схеме и благодаря резистору *R104* имеет слабую развязку с последующими каскадами.

Генераторный каскад индуктивно связан с предоконечным

Рис. 136
Трехкаскадный высокочастотный блок передатчика с модуляцией в предоконечном каскаде (аппаратура *Varioprop 8S*). Напряжение питания 10,5–14,5 В, батарея 12 В, 1500 мА·ч



каскадом, собранным на транзисторе *T102*. В предоконечном и оконечном каскадах использованы низкочастотные транзисторы типа *BC 338* и *BD 400*. Современные низкочастотные транзисторы имеют хорошие высокочастотные характеристики и вполне могут быть использованы для этой цели. В схеме предоконечного каскада нет никаких особенностей. Транзистор *T102* подключен к средней точке катушки колебательного контура *L102*, *C105*, чтобы не слишком сильно демпфировать его. Транзистор *T103* модулятора подает ток на эмиттер транзистора предоконечного каскада в такт с последовательностью импульсов. Оконечный каскад работает в режиме С и имеет емкостную связь с предоконечным каскадом. Простой П-фильтр образует колебательный контур оконечного каскада. Конденсатор *C113* осуществляет развязку антенны относительно постоянного тока источника питания.

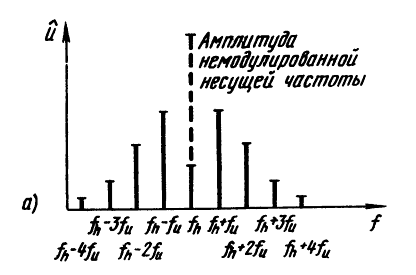
Для удлинения антенны (ее длина равна 1,43 м) и точной ее настройки в точке ввода установлена катушка *Dr102*. При потребляемой мощности постоянного тока 1,3 Вт оконечный каскад обеспечивает выходную мощность около 1 Вт. Такая мощность для передатчика является максимальной. Даже если при еще большем повышении выходной мощности можно получить дополнительное улучшение отношения напряжений помехи и сигнала, то большое количество требуемых теперь никелево-кадмиевых аккумуляторов, их высокая стоимость и значительная масса сводят на нет получаемые преимущества. В настоящее время выходная мощность, равная 1 Вт, является хорошим компромиссом между стоимостью, емкостью аккумуляторов, временем работы и помехозащищенностью линии радиосвязи для передачи команд управления.

Частотная модуляция

Наряду с амплитудной модуляцией с 1974 г. в передатчиках аппаратуры дистанционного управления с целью повышения эксплуатационной надежности аппаратуры стали применять частотную модуляцию.

Сравнение качества работы при частотной (в УКВ-радиоаппаратуре) и при амплитудной (в средневолновом диапазоне) модуляции показывает, что при использовании в аппаратуре дистанционного управления первая имеет определенные преимущества. В аппаратуре дистанционного управления моделями применяют известную из радиотелефонии узкополосную частотную модуляцию.

При частотной модуляции передатчик излучает несущую частоту постоянной амплитуды. Информация заключена в изменении (модулировании) несущей частоты ω_{HF}, описываемой уравнением (54), относительно ее среднего значения. Величину колебания частоты называют девиацией частоты *H*, которая сравнима с коэффициентом модуляции *m*, используемым в случае ампли-



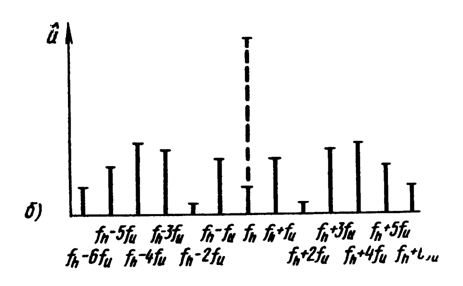


Рис. 137
Частотный спектр частотномодулированного колебания: *а* — при $M=2$; *б* — при $M=5$

тудной модуляции, так как от ее величины также зависит громкость низкочастотного сигнала при настройке. Как и при амплутудномодулированной несущей частоте при частотной модуляции информация заключена в боковых полосах (рис. 137). При этом частотный спектр имеет сложное и довольно объемное математическое описание (с помощью функций Бесселя). Подробно на нем здесь останавливаться нет необходимости, но для применения частотной модуляции значение имеют некоторые выводы, вытекающие из результатов математического расчета.

Частотный спектр частотномодулированного колебания в обеих боковых полосах содержит бесконечно большое количество боковых частот, амплитуды которых уменьшаются с увеличением номеров их порядков. Правда, начиная с некоторой амплитуды, остальными боковыми частотами можно пренебречь, так как они принимают уже малое участие в воспроизведении сигнала. При высококачественной частотномодулированной передаче пренебрегают боковыми частотами, амплитуды которых составляют менее 1% амплитуды несущей частоты. При этом говорят о широкополосной частотной модуляции. По сравнению с передачей при амплитудной модуляции частотномодулированная передача обеспечивает очень хорошее качество сигнала даже тогда, когда пренебрегают боковыми частотами, имеющими амплитуды менее 10% от амплитуды несущей частоты. Благодаря этому значительно сужается требуемая ширина полосы пропускания по высокой частоте, поэтому метод называют **узкополосной частотной модуляцией**. Полоса пропускания при этом определяется следующим уравнением

$$B_{HF} = 2f_{NF}(1 + M), \tag{59}$$

где

$$M = \frac{H}{f_{NF}}. \tag{60}$$

Из уравнений (59) и (60) получают

$$B_{HF} = 2(H + f_{NF}), \tag{61}$$

где M — индекс модуляции,

H — девиация частоты, B_{HF} — полоса пропускания и f_{NF} — низкая частота.

Уравнение (61) показывает, что при частотной модуляции всегда необходима более широкая полоса пропускания, чем при амплитудной модуляции. Согласно этому уравнению полоса пропускания по высокой частоте зависит не только от полосы пропускания по низкой частоте, но и от девиации частоты. Так как при интервале надежности 4 кГц полоса пропускания по высокой частоте должна составить 18 кГц, цифровая аппаратура с частотной модуляцией при $f_{NF}=5$ кГц может работать с девиацией частоты

$$H = \frac{B_{HF}}{2} - f_{NF} = \frac{18 \text{кГц}}{2} - 5 \text{ кГц} = 4 \text{ кГц}.$$

Такая величина девиации частоты является средней, при узкополосной частотной модуляции применяют девиацию от 2 до 10 кГц.

Появилась четкая тенденция разбивки полосы частот 27,12 МГц на каналы, интервалы между которыми составляют 10 кГц (см. табл. 2). Это разрешает одновременную работу 32 комплектов экстремально узкополосной аппаратуры, полоса пропускания по высокой частоте которой должна быть равна $B_{HF}=8$ кГц при подавлении на 23 дБ излучений, лежащих за пределами этой полосы.

Сохранение используемой в настоящее время импульсной диаграммы при длине импульса 1,6 мс требует полосы пропускания по низкой частоте $B_{NF}\approx 3{,}5$ кГц. Тогда на девиацию частоты остается 0,5 кГц. Но такая малая девиация, в свою очередь, ставит другие проблемы. Малая девиация означает малое напряжение сигнала на выходе демодулятора. По этой причине девиация частоты 0,5 кГц вряд ли применима. В 1974—1975 гг. в промышленности были проведены эксперименты с девиацией частоты 1—2 кГц. Какой вариант оправдает себя на практике, пока неясно, так как это зависит от решения многих технических задач.

Узкополосная частотная модуляция может быть реализована в передатчиках, стабилизированных кварцем. Модуляция производится затягиванием частоты кварца в генераторе. Затягивание частоты кварца осуществляет последовательно включенный с ним варикап, емкость которого изменяется в такт с последовательностью импульсов (рис. 138, *а*), или комбинация конденсаторов, включающая модуляционный транзистор (рис. 138, *б*).

Схемное решение последующих каскадов усиления отвечает положениям, изложенным в разделе 4.2.1.2. Так как каскады усиления должны устойчиво работать во всей полосе частот 27,12 МГц, их полосы пропускания в любом случае достаточно для частотной модуляции. Искажения (высшие гармоники), появляющиеся при усилении мощности высокой частоты, не оказывают никакого влияния на модуляцию. Еще

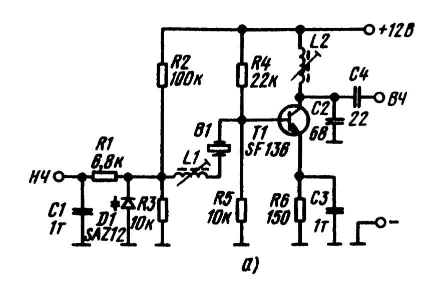
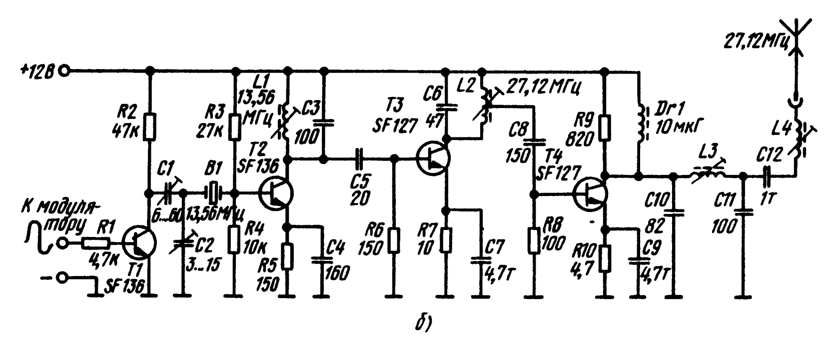


Рис. 138
Стабилизированный кварцем генератор, работающий при узкополосной частотной модуляции: *а* – с варикапом. Катушка *L1* диаметром 5 мм имеет 15 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,35 мм. Катушка *L2* диаметром 7 мм имеет 12 витков такого же провода диаметром 0,5 мм. Обе катушки выполнены с подстроечниками; *б* – с конденсатором затягивания



одним преимуществом частотной модуляции в схеме генератора является очень малая требуемая мощность модуляции.

Схемное решение генератора частотномодулированной высокой частоты (см. рис. 138, *а*) не намного сложнее, чем решение генератора амплитудномодулированной высокой частоты (см. рис. 133). Последовательно с кварцем включены варикап *D1* и катушка *L1*. Последняя компенсирует емкость варикапа в режиме отсутствия модуляции. Рабочая точка варикапа *D1* определяется делителем напряжения *R2*, *R3*. Устанавливаемая резистором *R1* амплитуда низкой частоты и положение рабочей точки на характеристике варикапа изменяют его емкость и, тем самым, девиацию частоты, генерируемой генератором. Но так как последовательно с варикапом включен кварц, на девиацию частоты оказывает влияние и динамическая емкость *C1* кварца (см. рис. 100). Таким образом, девиацию частоты необходимо устанавливать в зависимости от типа варикапа и характеристик кварца (*C1*).

Следовательно, чем больше динамическая емкость *C1* кварца (для кварца *HC* 25 *U* Народного предприятия *Narva* емкость *C1* равна 175 пФ), тем меньше должно быть изменение емкости варикапа при той же девиации частоты. Диапазон затягивания кварца, равный $\Delta f \approx 5 \cdot 10^{-4}$, дает возможность получать девиацию частоты

$$H = \Delta f \cdot f_0 = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 27{,}12 \times \times 10^{-6}\,\text{Гц} \approx 13{,}6\ \text{кГц}. \qquad (62)$$

Таким образом, девиация частоты, возможная с помощью этого варианта схемы и равная примерно 13 кГц, больше максимальной девиации частоты, определяемой шириной полосы пропускания по высокой частоте. Поэтому рабочую точку варикапа можно устанавливать так, чтобы не полностью использовать диапазон затягивания кварца. Кроме того, уменьшенный диапазон раскачки варикапа приводит к меньшим модуляционным искажениям, что способствует хорошему качеству передачи.

Так как в передатчике производится импульсная модуляция, затягивание кварца может быть осуществлено более простым способом, а именно переключением затягивающего конденсатора (рис. 138, *б*). Генератор работает по стандартной схеме. Конденсатор *C2* затягивает частоту колебаний кварца на необходимую величину. Конденсатор *C1* параллельно подключается к конденсатору *C2* в такт с последовательностью импульсов. Если модуляционный транзистор *T1* заперт, то включен только конденсатор *C2*. Когда же транзистор *T1* открыт, конденсаторы *C1* и *C2* включаются параллельно друг другу, а также последовательно к кварцу. Соотношение емкостей конденсаторов определяет девиацию частоты генератора, которую можно изменять в широком диапазоне. Чтобы генератор мог работать при небольшой девиации частоты, для него выбрана рабочая частота 13,56 МГц. Предоконечный каскад, собранный на транзисторе *T3*, удваивает эту частоту до требуемой 27,12 МГц. Модуляционные искажения из-за удвоения частоты не возникают.

Предоконечный и оконечный каскады узкополосного передатчика с частотной модуляцией почти идентичны таким же каскадам передатчиков с амплитудной модуляцией. Проблемы, которые еще необходимо решить при усовершенствовании схемы, заключаются в снижении коэффициента нелинейных искажений модуляции и в формировании импульсов манипуляции (сглаживание фронтов импульсов для плавного переключения и сужения полосы пропускания по низкой частоте), чтобы было достаточно заданной полосы пропускания по высокой частоте B_{HF} = 8 кГц.

Частотная модуляция имеет для дистанционного управления большие преимущества. В аппаратуре с амплитудной модуляцией проблему получения большого отношения сигнал/помеха пытаются решить путем повышения выходной мощности и снижения чувствительности приемника. Аппаратура с частотной модуляцией позволяет более легко повысить это отношение.

Поскольку к аппаратуре дистанционного управления моделями не предъявляются специальные требования относительно величины сигнал/помеха, в качестве примера можно рассмотреть соответствующие законодательные положения для переносной радиотелефонной аппаратуры. При минимальной

напряженности поля 5 мкВ/м эта аппаратура должна иметь следующие характеристики:

Полезный сигнал	Сигнал помехи	Отношение сигнал/помеха
F3	*F3*	*8* дБ
A3	*A3*	19 дБ

Данные требования можно перенести в практику дистанционного управления моделями, если принять, что минимальная напряженность поля составляет 10—20 мкВ/м. Преимущество аппаратуры с частотной модуляцией заключается в том, что она в отличие от аппаратуры с амплитудной модуляцией допускает отношение сигнал/помеха, соответствующее лучшей помехозащищенности. Так как важное значение, особенно для авиамоделей, имеет нечувствительность к помехам всех типов (от *A1* до *A9* и от *F1* до *F9*), можно предсказать, что рано или поздно частотная модуляция будет использована и в аппаратуре дистанционного управления моделями. Помехозащищенность аппаратуры можно увеличить благодаря подавлению амплитудных помех в приемнике.

При частотной модуляции для работы достаточно небольшой модуляционной мощности. Это положительно сказывается на балансе мощностей и, следовательно, на КПД передатчика. И еще одно преимущество: выходной каскад работает при максимальной выходной мощности и благодаря этому позволяет получать более высокую полезную мощность.

Недостатками частотной модуляции по сравнению с амплитудной являются потребность в полосе пропускания, увеличенной на две девиации частоты, и сложность установки глубины модуляции.

Однополосная, импульсная и фазовая модуляции, представляющие собой частные случаи частотной модуляции, в практике радиоуправления моделями пока не применяются.

Модуляционный усилитель

Никаких примеров схем модуляционного усилителя здесь не дано, так как такие усилители входят в уже рассмотренные схемы. Модуляционные усилители можно разбить на следующие группы:

усилители (синусоидальной) низкой частоты;

усилители импульсов, следующих с низкой частотой повторения;

триггеры;

моностабильные мультивибраторы.

Примером усилителя низкой частоты для аппаратуры дискретного управления, в которой использована модуляция синусоидальным колебанием, является схема передатчика *Variophon 2* (рис. 130). Модуляционный транзистор в этой схеме одновременно играет роль усилителя низкой частоты. Примерами усилителя низкой частоты, работающего в дискретном режиме и, следовательно, осуществляющего импульсную модуляцию, являются схемы передатчиков для аппаратуры дистанционного управления *Пилот* (рис. 114)

и *Start* (рис. 131). В цифровой аппаратуре также производится импульсная модуляция.

Из-за специальной формы синхронизации в аппаратуре *Varioprop* здесь следует указать только на схемы триггеров (рис. 43 и 45). Почти во всех других цифровых передатчиках в качестве модуляционного усилителя использован моностабильный мультивибратор (рис. 35, 39, 40 и 42). Для цифровой аппаратуры такой модуляционный усилитель является наиболее простым и надежным, так как его схема позволяет получать четкое переключение и генерировать импульсы правильной прямоугольной формы и определенной ширины, с помощью которых управляется модуляционный транзистор в высокочастотном блоке.

4.2.2. Приемник

4.2.2.1. Предварительные замечания

Некоторые проблемы приема команд были рассмотрены в разделе 2.3. Теперь общие проблемы передачи команд должны быть дополнены рассмотрением некоторых специальных проблем. Теоретические вопросы изложены лишь в объеме, необходимом для понимания приведенных примеров схем, а также их технических особенностей.

Любая линия связи содержит передатчик и приемник, от которых в равной мере зависит стабильность процесса управления моделью. Задачей приемника являются прием модулированной высокой частоты и разделение высокой и низкой частот, т. е. демодуляция. В пределах дальности действия на выходе приемника должен появляться по возможности постоянный и не содержащий помех сигнал, который затем должен быть декодирован.

В процессе развития аппаратуры дистанционного управления оправдали себя следующие параметры передатчика и приемника. Мощность колебаний высокой частоты в антенне передатчика составляет от 0,1 до 0,8 Вт. Соответствующие приемники имеют чувствительность по высокой частоте 2—5 мкВ и обеспечивают дальность действия в пределах прямой видимости модели. Более низкие выходные мощности так же неэкономичны, как и более высокие.

Малые выходные мощности, обусловливающие дальность действия около 500 м, требуют от приемников очень большой чувствительности. Они конструктивно сложны, при работе в сложных условиях трудно обеспечить их стабильность, их сборка требует большого количества схемных элементов. Эти приемники также чувствительны к воздействиям помех и часто отказывают в работе.

Выходные мощности более 0,8 Вт требуют повышенных затрат на батареи и мощные транзисторы, кроме того, из-за строгих законодательных положений такие мощности труднее освоить в любительских условиях. Мощные передатчики мо-

тут создавать сильные помехи приемникам, рассчитанным на работу с более слабыми передатчиками. Приемник, имеющий чувствительность 2—5 мкВ, и передатчик, имеющий выходную мощность P_a от 200 до 800 мВт, позволяют достичь дальности действия до 1000 м, т. е. предела, до которого может быть надежно оценено положение авиа- или автомодели.

Декодирующие каскады имеют чувствительность срабатывания от 0,2 до 2 В, т. е. в экстремальных случаях приемник должен обеспечить усиление с 2—5 мкВ до 0,5—2 В, что требует коэффициента усиления v от 10^5 до 10^6. Усиление 1 : 1 000 000 распределяется по различным каскадам приемника. Если коэффициент усиления усилителя низкой частоты v_{NF} принять равным от 1000 до 2000, то перед ним необходимо установить еще предварительный усилитель, обеспечивающий примерно такое же усиление. Полное усиление приемника v_{ges} равно произведению коэффициентов усиления каскадов низкой (v_{NF}) и высокой (v_{HF}) частоты

$$v_{ges} = v_{NF} \cdot v_{HF}. \qquad (63)$$

В практике дистанционного управления моделями эту задачу решают с помощью приемников двух типов: сверхрегенеративных и супергетеродинных. Простейшей схемой приемника и демодулятора является детектор. Но он не применяется на моделях в качестве схемы приемника, так как его чувствительность слишком низка. При использовании детектора без труда может быть достигнута дальность действия до 10 м. Благодаря простоте он сохраняет свое значение в качестве контрольного прибора (измерителя напряженности поля).

4.2.2.2. Детектор

Задачей демодулятора является отделить информацию о команде от несущей частоты и передать ее при минимальных искажениях на декодирующее устройство. Этот процесс называется демодуляцией, он противоположен модуляции. Демодуляцию амплитудномодулированных колебаний называют также прямой демодуляцией. В этом случае амплитудномодулированные колебания выпрямляют непосредственно с помощью переключающего звена, амплитуда выходного сигнала которого определяется амплитудой входного сигнала.

Простейшим идеализированным примером такого звена является двухполюсник, имеющий линейную наклонную характеристику (рис. 139). При поступлении отрицательного напряжения на двухполюсник ток через него не течет, при поступлении же положительного напряжения ток на выходе двухполюсника изменяется пропорционально напряжению. Такую характеристику имеет однополупериодный выпрямитель. Если на вход подается амплитудномодулированное колебание, симметричное отно-

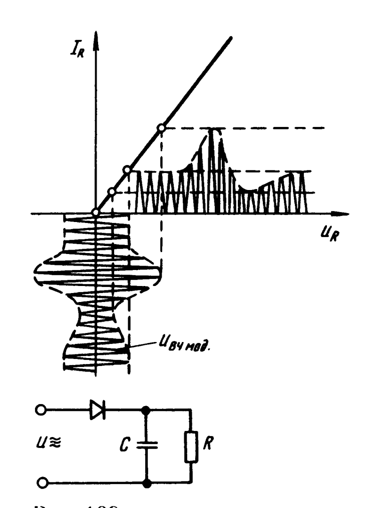


Рис. 139
Принцип действия детектора (рабочая характеристика идеализирована)

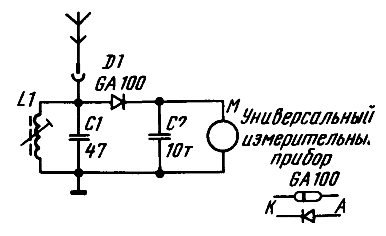


Рис. 140
Детектор для работы в полосе частот 27,12 МГц (принципиальная схема) Катушка $L1$ диаметром 7 мм, с подстроечником, имеет 10 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0, мм. Антенна длиной 50 см выполнена из стальной проволоки

сительно нулевой точки характеристики, как это показано на рис. 139, то при омическом сопротивлении нагрузки R высокочастотное колебание накоротко замыкается на нагрузку и конденсатор C. На нагрузке R вследствие падения полезного напряжения появляется постоянное напряжение с наложенным на него напряжением низкой частоты, представляющим собой верхнюю огибающую амплитудномодулированного высокочастотного колебания. При этом производится выпрямление, абсолютно лишенное искажений. Постоянную времени $T=0{,}7 \cdot R \cdot C$ (см. также уравнение (15) выбирают с таким расчетом, чтобы накоротко замыкались только высокочастотные колебания, но не низкочастотные, т. е. чтобы было выполнено условие

$$T_{NF} > T > T_{HF}.$$

На рис. 139 показана идеальная характеристика. На практике демодуляция может быть осуществлена и при криволинейных характеристиках, которыми обладают диоды и транзисторы. Простейший детектор состоит из антенны, колебательного контура, диода, зарядного конденсатора и измерительного прибора или наушников (рис. 140). Через антенну на колебательный контур подаются колебания несущей частоты. Так как колебательный контур настроен на частоту 27,12 МГц, он отфильтровывает колебания этой частоты из смеси частот. При этом на клеммах колебательного контура появляются модулированные колебания несущей частоты. Диод $D1$ детектирует высокую частоту, благодаря чему на выход диода проходят только верхние полуволны этой частоты. Огибающая этих остатков высокой частоты представляет собой низкочастотное колебание. Зарядный конденсатор $C2$ замыкает

остатки высокочастотных колебаний на массу, при этом через измерительный прибор течет ток, изменения которого соответствуют изменениям огибающей, т. е. низкой частоты. Этот ток содержит постоянную и переменную составляющие.

Измеряемый прибором постоянный ток примерно пропорционален напряженности поля, действующей в месте приема. Детектор относится к основным контрольным приборам, необходимым для настройки передатчиков аппаратуры дистанционного управления, так как, пользуясь им, можно измерить относительное излучение передатчика.

С помощью наушников можно прослушивать переменную составляющую — низкую частоту, контролируя модуляцию передатчика (для аппаратуры дискретного дистанционного управления). Детектор можно выполнить в виде приставки к универсальному измерительному прибору. Так как детектор должен быть простым и дешевым контрольным прибором, специальные мероприятия по согласованию антенны, колебательного и измерительного контуров для него не предусматривают.

Чувствительность детектора можно значительно повысить, если перед ним или после него поставить усилительный транзисторный каскад. В последнем случае можно использовать дешевый низкочастотный тран-

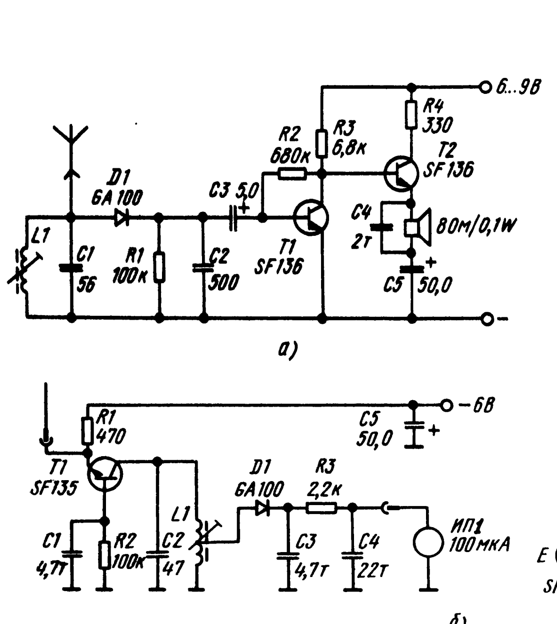
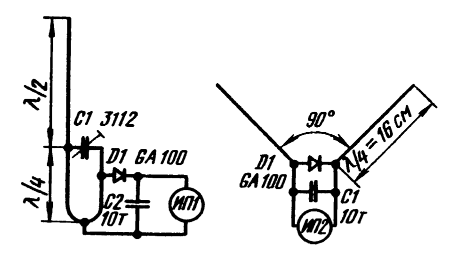


Рис. 141
Детекторы с расширенной областью применения: *а* — с усилителем низкой частоты. Катушка *L1* диаметром 7 мм, с подстроечником, имеет 11 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,5 мм. Сопротивление катушки громкоговорителя 8 Ом, выходная мощность 0,1 Вт. Антенна длиной 70 см выполнена из стальной проволоки; *б* — с усилителем высокой частоты. Катушка *L1* диаметром 7 мм, с подстроечником, имеет 9 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,5 мм. Длина проволочной антенны 1 м

зистор (рис. 141, *а*). Для повышения избирательности детектора можно предусмотреть слабую связь антенны с колебательным контуром, а измерительный контур согласовать с колебательным контуром *L1, C1* через отвод от катушки *L1*.

В случае установки каскада усиления высокой частоты перед детектором (рис. 141, *б*) получают более высокую чувствительность. Такая схема имеет то преимущество, что теперь характеристики излучения передатчика могут быть правильно оценены на расстоянии более 10 м, т. е. на расстоянии, превышающем длину волны (см. раздел 4.2.1.4). Высокочастотный транзистор *T1* включен по схеме с общей базой и работает в качестве селективного усилителя. Колебательный контур *L1, C2* включен в его коллекторную цепь. Связь измерительного контура осуществлена через отвод от катушки *L1*. Детекторы обоих вариантов можно собрать на небольших печатных платах, на которых размещены и батареи питания.

Рис. 142
Два варианта детектора, предназначенного для работы в полосе частот 433 МГц



На рис. 142 представлены схемы детекторов, позволяющих производить настройку приемников, работающих в полосе частот 433 МГц. Колебательный контур здесь выполнен с помощью проволочной петли.

4.2.2.3. Сверхрегенеративные приемники

Приемники этого типа нашли широкое распространение в аппаратуре дистанционного управления. Долгое время этот тип приемников вообще был единственным в практике радиоуправления моделями. Преимуществами сверхрегенеративных приемников являются:

малое число схемных элементов;

простота схемы;

надежность работы;

простота настройки.

К недостаткам этих приемников относятся большая ширина полосы пропускания, составляющая от 250 до 500 кГц и приводящая к приему сигналов всех передатчиков, которые работают в полосе частот 27,12 МГц, и паразитное излучение, исключающее возможность одновременной работы нескольких сверхрегенеративных приемников. Но все большее распространение аппаратуры дистанционного управления, предназначенной для работы в полосе частот 27,12 МГц, привело к вытеснению сверхрегенеративных приемников супергетеродинными. Сверхрегенеративные приемники сохраняют свое значение там, где возможна работа только

одного комплекта аппаратуры.

Хотя сверхрегенератор представляет собой специальную форму регенератора и его задачей также является усиление и демодуляция принятого высокочастотного колебания, однако между ними существуют и определенные различия.

Регенератор, как и генератор, выполняют в виде усилителя с обратной связью. При настройке регенератор посредством выбора соответствующих положения рабочей точки и глубины обратной связи приводят в состояние, предшествующее наступлению самовозбуждения. Поэтому демпфирование колебательного контура снижается и значительно повышается чувствительность усилителя высокой частоты. Правда, настройка рабочей точки и глубины обратной связи, обеспечивающая оптимальный режим работы, требует большой точности. Поэтому схемы любительских регенеративных приемников трудны для повторения.

В сверхрегенераторах обратная связь устанавливается, напротив, жестко, но рабочая точка ритмично качается относительно точки наибольшей чувствительности. Так как рабочая точка проходит через точку максимальной чувствительности, приводя к самовозбуждению усилителя, этот приемник в течение коротких периодов времени работает как генератор высокой частоты. В результате сверхрегенеративный приемник периодически излучает высокочастотные колебания малой мощности, создающие помехи другим близко расположенным приемникам.

Паразитные колебания устраняют включением предварительного каскада усиления высокой частоты. Качание рабочей точки обеспечивает высокую стабильность работы и большое усиление высокой частоты. Приемник хорошо зарекомендовал себя в области управления моделями на расстоянии.

С помощью простой схемы необходимо отделить друг от друга три колебания, так как величина частоты качания должна быть больше низкой, но меньше высокой частоты. К настоящему времени разработано множество схем сверхрегенеративных приемников. Ниже рассмотрены лишь некоторые из них, оправдавшие себя на практике. В литературе сверхрегенеративные приемники называют также суперрегенеративными.

Поскольку рабочая точка транзистора колеблется относительно точки самовозбуждения и, следовательно, относительно точки наибольшей чувствительности, необходимо наличие управляющего напряжения — напряжения суперирования. Вспомогательную частоту (частоту колебаний) можно получать с помощью отдельного генератора. Сверхрегенераторы такого типа называются сверхрегенераторами с внешним возбуждением. В сверхрегенераторах же с самовозбуждением вспомогательную частоту получают с помощью транзистора регенеративного каскада. На прак-

тике применяется почти исключительно последний вариант как более простой и отвечающий всем требованиям техники дистанционного управления моделями.

Сравнение схем, используемых в различных образцах аппаратуры дистанционного управления, показывает, что наибольшее распространение получили сверхрегенераторы с самовозбуждением, известные под названием сверхрегенераторов Шумахера (см. также схемы аппаратуры *Start* и *Пилот*).

В схеме сверхрегенеративного приемника, приведенной на рис. 143, транзистор *T1* включен по схеме с общей базой. Рабочая точка определяется сопротивлениями резисторов *R1*, *R2*. Обратная связь выполнена с помощью конденсатора *C7*. Посредством изменения обратной связи регенерацию устанавливают так, чтобы была получена наибольшая чувствительность перед самым наступлением самовозбуждения.

Особую роль при этом играет конденсатор обратной связи *C7*, поддерживающий частоту высокочастотных колебаний сверхрегенератора, равной принимаемой частоте. Его ем-

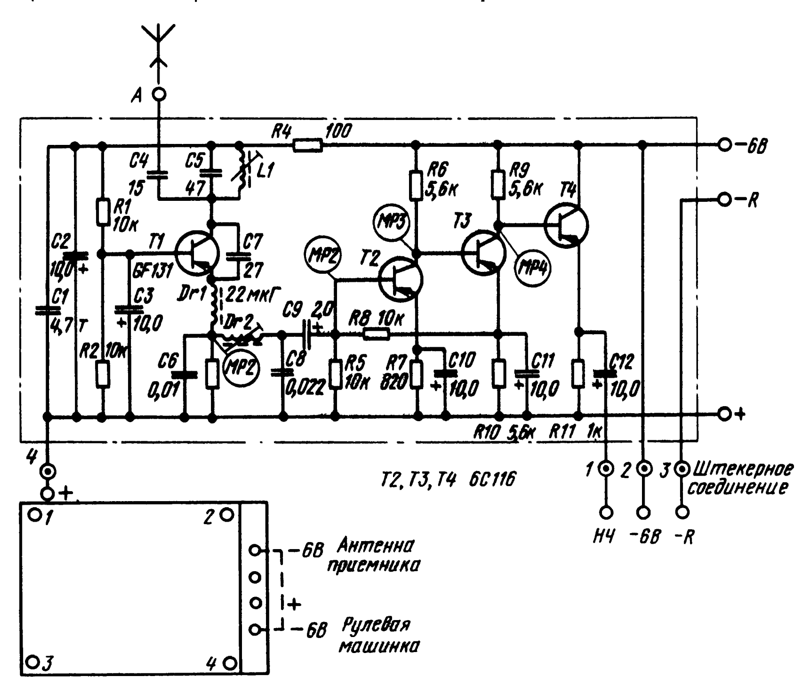


Рис. 143
Сверхрегенеративный приемник с усилителем низкой частоты (аппаратура *Start*). Катушка *L1* диаметром 5 мм, с подстроечником, имеет 12 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,5 мм. Дроссель *Dr2*, в броневом сердечнике, имеет 200 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,1 мм

кость выбирают такой большой, чтобы вообще могли установиться высокочастотные и вспомогательные колебания. Если емкость будет слишком велика и амплитуда вспомогательных колебаний будет иметь слишком большую величину, то приемник не будет работать в области наибольшей чувствительности. Оптимальную емкость конденсатора *C7* следует находить экспериментально с помощью триммера, который затем можно заменить постоянным конденсатором.

Как здесь генерируется вспомогательная частота?

Через резистор *R3* течет эмиттерный ток транзистора. Одновременно этот ток заряжает конденсатор *C6*, поэтому эмиттер становится более отрицательным, и на базу подается более низкое напряжение смещения, чем на эмиттер. Ток транзистора уменьшается, т. е. транзистор запирается. Теперь конденсатор *C6* начинает разряжаться через резистор *R3*, эмиттерное напряжение падает и процесс возобновляется. При этом с помощью резисторов *R1* и *R3* рабочая точка транзистора должна быть установлена так, чтобы она колебалась между режимами усиления и самовозбуждения, причем при работе в режиме самовозбуждения приемник имеет наибольшую чувствительность.

Вспомогательные колебания представляют собой пилообразные колебания правильной формы (рис. 144), частота которых определяется *RC*-цепочкой *R3*, *C6*. Частоту этих колебаний можно рассчитать по формуле:

$$f = \frac{1}{0{,}7 \cdot R \cdot C} = \frac{1{,}4}{R \cdot C}. \qquad (64)$$

Вспомогательная частота должна составлять от 30 до 50 кГц. Если она слишком мала, то с помощью простой фильтрующей схемы ее вряд ли можно будет отделить от низкой частоты. Если же эта частота слишком велика, то

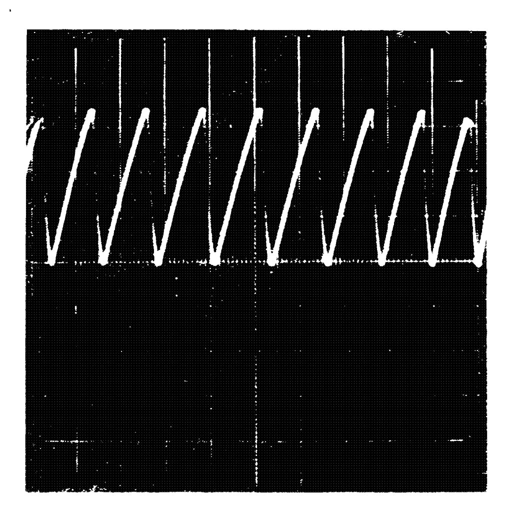


Рис. 144
Осциллограмма колебаний вспомогательной частоты, снятая в точке *MP1* схемы, представленной на рис. *143*

она может излучаться через антенну в виде дополнительного паразитного излучения. Кроме того, рабочая точка транзистора лишь кратковременно проходит в этом случае через область наибольшего усиления. Чувствительность и избирательность сверхрегенеративного приемника тем лучше, чем ниже вспомогательная частота, т. е. чем дольше сверхрегенератор остается в состоянии снятия демпфирования.

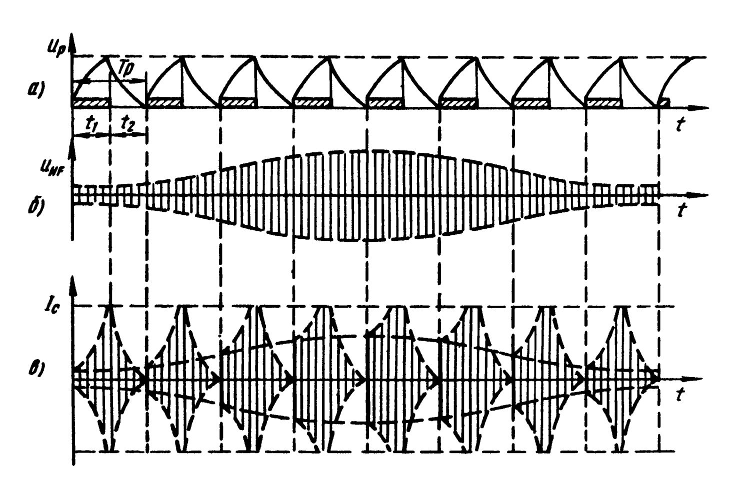
Если база транзистора *T1* имеет достаточно большой положительный потенциал относительно эмиттера, то амплитуда колебаний, генерируемых сверхрегенератором, определяется амплитудой принимаемой высокой частоты (рис. 145).

Рис. 145
Изменение напряжения и тока во времени при сверхрегенерации: *а* — напряжение вспомогательной частоты (T_p — период колебаний, t_1 — время открывания, t_2 — время запирания), *б* — напряжение модулированной высокой частоты; *в* — импульсы коллекторного тока

Колебательный процесс ограничен явлениями насыщения в транзисторе. Если теперь напряжение базы, обусловленное изменением вспомогательных колебаний на эмиттере, становится более отрицательным, то транзистор запирается и колебательный контур *L1, C5* демпфируется со своей постоянной времени. На рис. 145 четко видно, как различные по величине начальные амплитуды U_{HF} приводят к соответственно различным площадям импульсов коллекторного тока. Следовательно, огибающая этой начальной амплитуды соответствует демодулированному сигналу, поэтому она выделяется и усиливается.

Из сказанного выше можно сделать некоторые выводы.

Решающее значение для правильной работы сверхрегенератора имеют частота, форма кривой и амплитуда вспомогательного колебания. Речь идет не просто о «хороших» или «плохих» схемах. Не менее важны особенности конструк-



ции и оптимальный выбор номиналов схемных элементов. По сравнению с супергетеродинными приемниками сверхрегенеративные приемники имеют более простые схемы с меньшим количеством более коротких проводников, по которым проходят высокочастотные сигналы. Указанные на схемах номиналы элементов могут быть приняты только в качестве приближенных из-за разбросов параметров у отдельных экземпляров этих элементов.

Если сверхрегенератор работает неудовлетворительно, то сначала следует проверить форму вспомогательного колебания. В случае сверхрегенераторов с самовозбуждением эти колебания должны иметь правильную пилообразную форму (рис. 144). Если вспомогательные колебания представляют собой остроконечные импульсы, то чувствительность приемника не достигает полной величины, так как в этом случае состояния максимальной чувствительности наступают лишь кратковременно.

Недостаточная чувствительность может быть вызвана не только неправильной настройкой антенны или колебательного контура, но и неправильным выбором обратной связи (выбором емкости конденсатора *C7*), плохими частотными характеристиками транзистора или неверным выбором цепочки, определяющей величину вспомогательной частоты. В этом случае необходимо варьировать положение рабочей точки (изменением сопротивлений резисторов *R1* и *R2*), глубину обратной связи (изменением емкости конденсатора *C7*) или изменять параметры цепочки *R3*, *C6*, определяющей величину вспомогательной частоты.

Большое значение имеют форма и амплитуда вспомогательного колебания. Так как эта частота в несколько раз больше канальных частот, каждое низкочастотное колебание воспроизводится несколькими колебаниями вспомогательной частоты. Амплитудномодулированная несущая частота демодулируется на участке база-эмиттер транзистора. Эмиттерный ток содержит высокочастотное, вспомогательное и низкочастотное колебания. Таким образом, сверхрегенератор выполняет две задачи: усиление высокой частоты и ее демодуляцию.

Напряжение низкой частоты можно снимать в цепи коллектора или эмиттера. В сверхрегенераторе Шумахера *RC*-цепочка в цепи эмиттера одновременно используется для снятия напряжений вспомогательной и низкой частот. Высокая частота отфильтровывается дросселем *Dr 1*, а остаток высокочастотных колебаний замыкается на массу через конденсатор *C6*. Напряжения вспомогательной и низкой частот падают на резисторе *R3*. Но на последующие каскады должна поступать только демодулированная и усиленная низкая частота.

Фильтр нижних частот *Dr2*, *C8* разделяет вспомогательную и низкую частоты. В то время

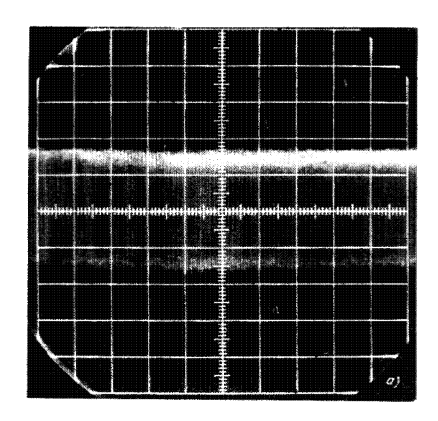
как большая часть напряжения вспомогательной частоты падает на дросселе вспомогательной частоты *Dr2*, напряжение низкой частоты должно падать на конденсаторе *C8*. Усилитель напряжения, характеристики которого зависят от частоты (и называемый фильтром нижних частот), работает тем лучше, чем больше разница между вспомогательной и низкой частотами. Если низкочастотное колебание содержит также и слишком большой остаток вспомогательной частоты (что можно проверить с помощью осциллографа), то можно или повысить вспомогательную частоту или увеличить индуктивность дросселя *Dr2* или емкость конденсатора *C8*.

При наличии вспомогательной частоты в высокоомных наушниках, подключенных к контрольной точке *MP2*, можно слышать сильный шум (передатчик при этом не включать!). При отсутствии входного сигнала процесс самовозбуждения возникает, как видно на рис. 145, под воздействием постоянно имеющегося напряжения теплового шума, поэтому на выход поступает усиленное и демодулированное шумовое напряжение колебательного контура. Шум является лучшим признаком сверхрегенерации (рис. 146, *а*). *RC*-цепочка *R4*, *C2* снижает напряжение питания сверхрегенератора и осуществляет развязку усилителя низкой частоты. При сниженном напряжении питания собственный шум этого усилителя также меньше. Чтобы можно было управлять работой декодирующего каскада, низкочастотный сигнал должен быть усилен в 10^3 раз с помощью усилителя низкой частоты, включенного за сверхрегенератором.

Показанный на рис. 143 усилитель низкой частоты типичен для аппаратуры дискретного дистанционного управления со сверхрегенеративными приемниками (см. также схему рис. 147) при наличии некоторых особенностей. Усилительные каскады имеют гальваническую связь. Вместе с шунтированием резисторов *R7* и *R10*, установленных в эмиттерных цепях транзисторов *T2* и *T3*, и отрицательной обратной связью по постоянному току с помощью резистора *R8* гальваническая связь обеспечивает довольно эффективную температурную стабилизацию работы транзисторов.

Кроме того, гальваническая связь благоприятно сказывается на колебательном процессе усилителя. Поскольку оба усилительных каскада, собранные на транзисторах *T2* и *T3*, должны иметь усиление не менее 1000, для них необходимо выбирать транзисторы, имеющие большое усиление по току. Транзистор *T4*, включенный по схеме с общим коллектором, работает не как усилитель, а как преобразователь полного сопротивления и за счет этого развязывает усилитель низкой частоты от последующих каскадов.

Настройку сверхрегенеративных приемников в простейшем случае можно проводить с наушниками, включенными



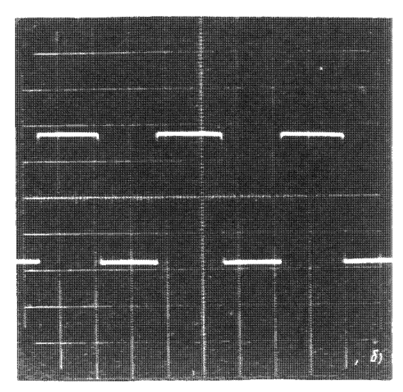


Рис. 146
Осциллограммы выходных напряжений: *а* — шум; *б* — ограниченный низкочастотный сигнал

между выходом низкой частоты и положительным полюсом источника питания.

При более точной настройке пользуются осциллографом. Сначала включают сверхрегенератор и прослушивают с помощью наушников сильный шум, который можно видеть и на экране осциллографа (рис. 146, *а*). Если при включенном передатчике вворачивать подстроечник катушки *L1*, то в определенной точке возникает шум. Это означает, что сверхрегенератор принимает высокочастотный сигнал передатчика. При отклонении ручки управления в наушниках прослушивается тихий низкочастотный сигнал. Пользуясь подстроечником, катушку *L1* настраивают на максимальную громкость и минимальный коэффициент нелинейных искажений (рис. 146, *б*). Так как приемник сильно перегружается вблизи передатчика, последний с убранной антенной при настройке следует удалить по меньшей мере на 10 м.

При настройке сверхрегенеративного приемника антенна имеет особое значение. При окончательной настройке антенна на приемнике должна соответствовать по длине той, которая в последующем будет установлена на модели. Для каждой антенны необходимо найти оптимальное значение емкости конденсатора *C4*, потому что при слишком жесткой связи антенны с колебательным контуром (слишком большая емкость конденсатора *C4*) вспомогательная частота не возбуждается, а при слишком мягкой связи (емкость конденсатора *C4* слишком мала) в колебательном контуре аккумулируется недостаточная мощность высокой частоты.

Оптимальная величина емкости различна для различных случаев работы, поэтому для получения высокой чувствительности настройку следует проводить в условиях, близких к практическим. Конденсатор *C4* сначала можно взять переменным, а после настройки заменить постоянным.

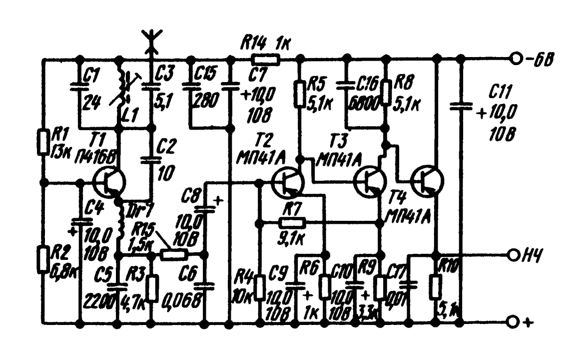


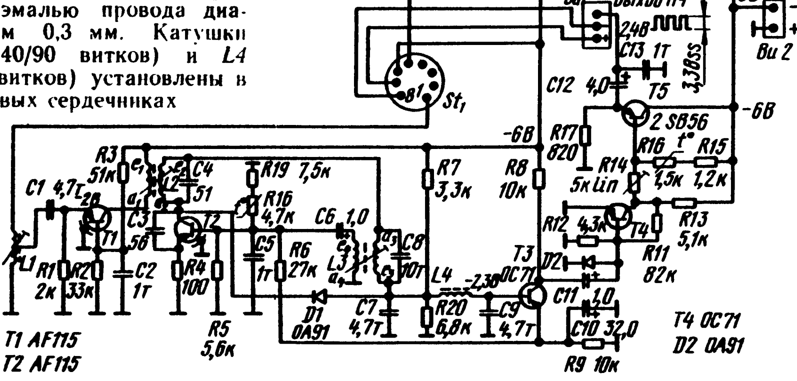
Рис. 147
Сверхрегенеративный приемник с усилителем низкой частоты (аппаратура *Пилот*)

Оба приемника, изображенные на рис. 143 и 147, незначительно отличаются друг от друга лишь номиналами отдельных схемных элементов. Усовершенствование сверхрегенеративных приемников идет по двум направлениям. Во-первых, путем улучшения схемных решений стараются сделать возможной одновременную работу нескольких комплектов аппаратуры и, во-вторых, стремятся использовать преимущества кремниевых транзисторов и интегральных схем.

Паразитное излучение, являющееся недостатком сверхрегенератора, может быть устранено введением каскада усиления высокой частоты, который осуществляет предварительную селекцию и усиление высокой частоты.

Примером сверхрегенеративного приемника с усилителем высокой частоты является приемник *Varioton* (рис. 148). Транзистор *T1* включен по схеме с общей базой и работает в качестве усилителя высокой частоты. Высокочастотные ко-

Рис. 148
Сверхрегенеративный приемник с усилителем высокой частоты (аппаратура *Varioton*). Катушка *L1* диаметром 4 мм, с подстроечником, имеет 11+11 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,2 мм. Катушка *L2* диаметром 5 мм, с подстроечником, имеет 4/6 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,3 мм. Катушки *L3* (40/90 витков) и *L4* (200 витков) установлены в броневых сердечниках



лебания от антенны периодически подаются на эмиттер транзистора через катушку *L1* и конденсатор *C1*, образующие настраиваемый колебательный контур. Резистор *R1* обеспечивает температурную стабилизацию за счет обратной связи.

Благодаря усилителю высокой частоты настройка антенны не требует абсолютной точности, так как длина антенны не оказывает влияния на работу сверхрегенератора. Это позволяет не производить подстройку приемника после изменения длины антенны. Кроме того, паразитное излучение сверхрегенератора больше не достигает антенны и не излучается в пространство, поэтому возможна одновременная работа двух или нескольких комплектов аппаратуры, не создающих взаимные помехи.

Усилитель высокой частоты и коллекторная цепь транзистора, на котором собран сверхрегенератор, связаны индуктивно. Обратная связь, предназначенная для возбуждения сверхрегенерации, образована включением конденсатора *C3* между коллектором и эмиттером транзистора *T2*. Вспомогательную частоту в приемнике получают не по обычной схеме, с помощью *RC*-цепочки, а посредством второго специального колебательного контура *L3*, *C8*, последовательно подключенного к высокочастотному колебательному контуру и имеющего индуктивную обратную связь с базой транзистора *T2*. При генерировании вспомогательной и усилении низкой частот транзистор *T2* работает по схеме с общим эмиттером, а для генерирования высокой частоты из-за более высокой граничной частоты более выгодна его работа по схеме с общей базой.

В такт со вспомогательной частотой транзистор *T2* начинает и прекращает генерацию высокой частоты. Благодаря специальному колебательному контуру *L3*, *C8* колебания вспомогательной частоты имеют правильную синусоидальную форму, что обеспечивает более надежную работу сверхрегенератора, чем в случае релаксационных колебаний, получаемых с помощью *RC*-цепочки.

Сопротивление резистора *R4* в цепи эмиттера довольно мало, и обеспечивать температурную стабилизацию не требуется. Рабочая точка стабилизируется включением в делитель напряжения базы резистора *R18*, имеющего отрицательный температурный коэффициент. Дроссель *L4* отфильтровывает низкочастотные колебания. При этом сверхрегенератор практически является нижней частью делителя напряжения базы транзистора, на котором собран каскад усиления низкой частоты.

Напряжение базы транзистора *T3* соответствует напряжению коллектора транзистора *T2*. Благодаря этому сверхрегенератор и первый каскад усиления низкой частоты взаимно компенсируют друг друга при колебаниях температуры и напряжения питания. Катушка *L4* и конденсатор *C9* образуют фильтр нижних частот,

не пропускающий вспомогательную частоту. Резистор *R6* осуществляет обратную связь по постоянному току между эмиттером транзистора *Т3* и базой транзистора *Т2* и, кроме того, стабилизирует рабочую точку.

Диод *D2* отрезает положительные полуволны, отрицательные же полуволны поступают на базу транзистора *Т4*, который их усиливает и одновременно ограничивает. В результате на коллекторе этого транзистора появляется напряжение правильной прямоугольной формы. Транзистор *Т5* является ключевым и работает по схеме с общим коллектором. Поэтому он не производит дополнительного усиления, но делает низкоомным выход усилителя низкой частоты. С выхода усилителя можно получать низкочастотное напряжение прямоугольной формы, пиковое значение которого составляет $U_{SS}=3{,}3$ В.

Разработаны схемы регенераторов на кремниевых транзисторах, позволяющие использовать такие их преимущества, как большое усиление и хорошую температурную стабильность характеристик. Схема, показанная на рис. 149, в определенной мере представляет собой сверхрегенеративный приемник Шумахера (рис. 143), усовершенствованный именно в этом направлении. Несколько изменен и сам сверхрегенератор. Цепочка возбуждения вспомогательных колебаний *R1, C1* включена в цепь базы, а разделение низкой и вспомогательной частот производится *RC*-цепочкой *C5*, *R3*, *C7*, *R5* и *C9*. Антенна связана с эмиттером, что позволяет снизить паразитное излучение до малого уровня и уменьшить влияние антенны на настройку сверхрегенератора. Приемник работает стабильнее и имеет более высокую чувствительность, чем при связи антенны с коллектором.

Частота вспомогательных колебаний в приемнике определяется *RC*-цепочкой *R1*, *C1*. Резистор *R1* одновременно служит для подачи напряжения смещения базы. При установке рабочей точки с помощью только одного резистора в цепи базы кремниевых транзисто-

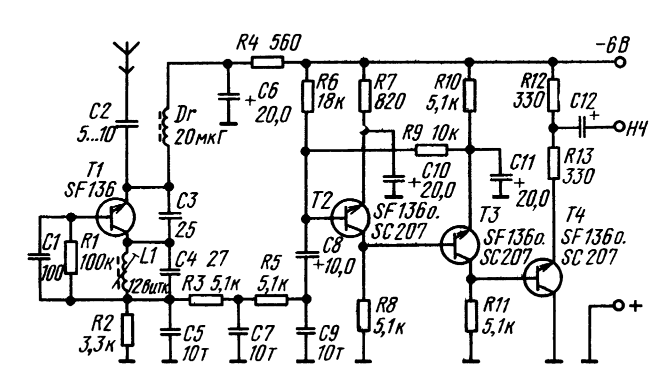
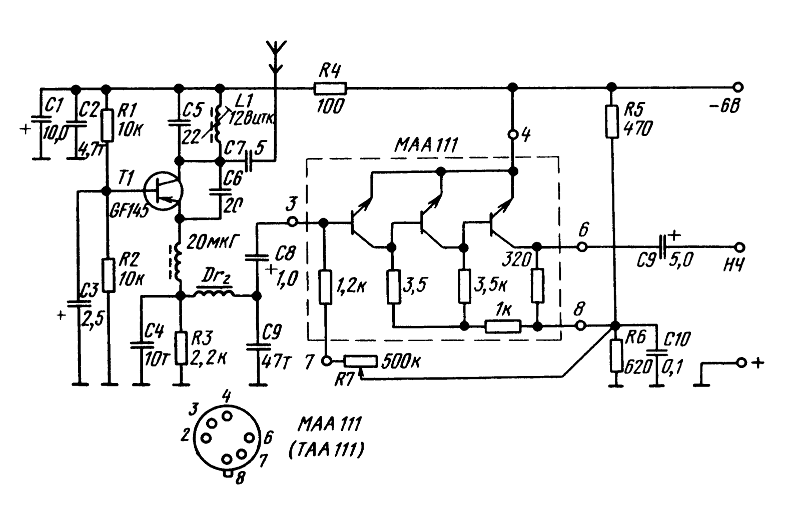


Рис. 149
Сверхрегенеративный приемник, собранный на кремниевых транзисторах

ров получают достаточно хорошую стабильность частоты при изменениях температуры внешней среды и напряжения питания. Рабочая точка может быть установлена с помощью имеющего большое сопротивление резистора в цепи базы (путем фиксирования тока базы). Изменения напряжения на участке база-эмиттер при изменениях температуры не оказывают никакого влияния на температурную характеристику. При соответствующем выборе постоянной времени с помощью разделительного конденсатора *C1* большое сопротивление резистора в цепи базы — благодаря регенеративному действию этой *RC*-цепочки вместе с участком база-эмиттер, играющим роль диода,— обеспечивает автоматическую регулировку усиления за счет сдвига рабочей точки, определяемого напряжением раскачки.

Сигнал на выходе приемника имеет прямоугольную форму, т. е. он ограничен. Его амплитуда определяется соотношением сопротивлений резисторов *R12* и *R13* и должна быть выбрана так, чтобы не были перегружены последующие каскады. В пределах дальности действия приемника напряжение низкой частоты на его выходе не содержит шумов. При достижении же предела дальности действия внезапно появляются шумы сверхрегенерации, в то время как у приемника, собранного на германиевых транзисторах, интенсивность шумов возрастает постепенно. Другими словами, на выходе приемника, собранного на кремниевых транзисторах, низкое напряжение в пределах дальности действия не содержит шумов, что значительно повышает эксплуатационную надежность приемника.

Рис. 150
Сверхрегенеративный приемник, усилитель низкой частоты которого выполнен с помощью интегральной схемы



Шагом в направлении к миниатюризации аппаратуры является использование интегральных схем в усилителе низкой частоты (рис. 150). Специально для этого предназначен трехкаскадный усилитель низкой частоты типа *ТАА 111 (МАА 125)*. В качестве сверхрегенератора можно принять схему, представленную на рис. 143 или 149. Включенный за ним трехкаскадный усилитель низкой частоты обеспечивает большое усиление частоты и благодаря гальванической межкаскадной связи имеет очень широкую полосу пропускания. Так как на выходе необходим низкочастотный сигнал, имеющий пиковые значения примерно *USS*=3 В, напряжение питания с помощью делителя напряжения снижено примерно до 4 В. С помощью подстроечного резистора *R7* устанавливают рабочую точку первого каскада усиления и, следовательно, двух других каскадов. После установки рабочей точки замеряют сопротивление резистора *R7* и заменяют его постоянным резистором.

Все рассмотренные до сих пор схемы предназначены для работы в полосе частот 27,12 МГц. После соответствующего изменения номиналов схемных элементов колебательного контура и конденсатора обратной связи в сверхрегенераторе схемы можно использовать и в полосе частот 13,56 МГц.

Для работы в традиционной полосе частот 27,12 МГц разработано очень большое число типов приемников, как сверхрегенеративных, так и супергетеродинных. Этого нельзя сказать о полосе частот 433 МГц. Было опубликовано два варианта схем сверхрегенеративных приемников, разработанных любителями, и сообщения об опыте работы с ними (в журнале *«Modellbau heute»* за 1961 и 1967 гг.). Обе схемы воспроизведены на рис. 151 и 152 и кратко описаны ниже с целью подтолкнуть моделистов к самостоятельным разработкам в этой очень интересной области.

В сверхрегенеративном приемнике, представленном на

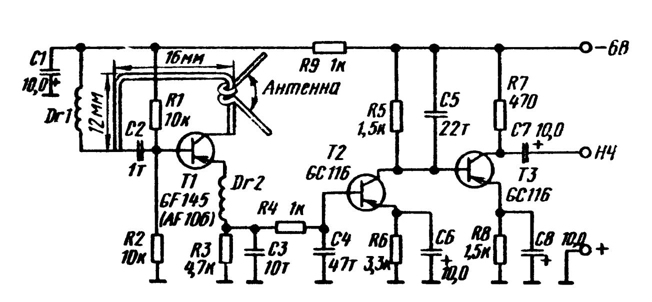


Рис. 151 Сверхрегенеративный приемник для работы в полосе частот 433 МГц (вариант *Benlert/Heck*). Дроссели *Dr1* и *Dr2* диаметром 2 мм, без подстроечников, имеют по 12 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,2 мм. Скоба в виде линии Лехера выполнена из медного покрытого эмалью провода диаметром 1 мм в шелковой оплетке

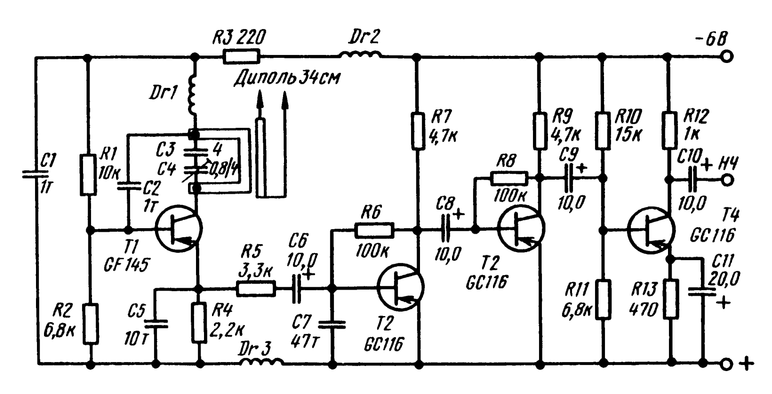


Рис. 152
Сверхрегенеративный приемник для работы в полосе частот 433 МГц (вариант *Rabel*). Дроссели *Dr1*, *Dr2* и *Dr3* диаметром 2 мм, без подстроечников, имеют по 14 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,3 мм

рис. 151, функции колебательного контура выполняет проволочная скоба. Схема приемника подобна схеме сверхрегенератора с самовозбуждением, показанной на рис. 143. Транзистор *T1* и здесь работает по схеме с общей базой. Резистор *R3* и конденсатор *C3* образуют цепочку в цепи эмиттера для возбуждения вспомогательной частоты. Конденсатор *C2* замыкает накоротко эту частоту на массу, но не непосредственно, а через дроссель *Dr1* и конденсатор *C1*. При такой большой частоте обратную связь осуществляет емкость транзистора C_{CK}.

Емкость участка коллектор-база включена последовательно с конденсатором *C2* и параллельно с колебательным контуром. За счет этого укорочена длина проволочной скобы. Так как концы проволочной скобы, называемой также колебательным контуром в виде линии Лехера, находятся под максимальным напряжением высокой частоты, напряжение питания подается или в узел напряжения, т. е. в середину скобы, или на ее концы, но тогда это должно быть сделано через дроссель. Было выбрано более простое и надежное решение. Цепочка *C3*, *R4* и *C4* производит разделение высокой и низкой частот.

Размеры колебательного контура в приемниках дециметрового диапазона играют решающую роль. Связь антенны со сверхрегенератором очень проста и представляет собой два-три витка изолированной проволоки антенны, охватывающих проволочную скобу. Наиболее благоприятную точку связи находят перемещением антенны по скобе. При слишком сильной связи сверхрегенерация исчезает. Длина проволочной антенны составляет половину длины волны, т. е. 34 см. Колебательный контур в виде линии Лехера может быть точно настроен на частоту передатчика посредством изгиба скобы.

При конструировании сверх-

регенеративных приемников, работающих в диапазоне дециметровых волн, тем более справедливо правило, уже сформулированное для таких же приемников, но работающих в полосе частот 27, 12 МГц: все высокочастотные проводники должны быть как можно более короткими. В полосе частот 433 МГц это касается каждого миллиметра проводников. Транзистор *T1* лучше всего разместить непосредственно под проволочной скобой. Чтобы снизить потери в колебательном контуре и в проводниках в этом диапазоне частот, для колебательного контура следует использовать посеребренную медную проволоку и при пайке необходимо оставлять как можно меньше третника на печатной плате, так как цинк имеет значительно меньшую проводимость, чем медь.

Представленная на рис. 152 схема сверхрегенеративного приемника, предназначенного для работы в дециметровом диапазоне, имеет некоторые усовершенствования по сравнению со схемой рис. 151. Дроссель в цепи эмиттера здесь отсутствует. Благодаря этому сверхрегенератор надежно возбуждается даже при использовании транзистора, имеющего плохие частотные характеристики. Изменения напряжения, металлические детали, даже корпус приемника расстраивают колебательный контур, для настройки которого предназначен конденсатор *C4*.

Антенна выполнена из двух отрезков проволоки длиной по 17 см, развернутых относительно друг друга на 90°. В качестве антенного провода использован плоский ленточный кабель, длина которого не должна превышать 15 см. Для связи с антенной прокладывают отрезок изолированного монтажного провода над печатной платой параллельно скобе в виде линии Лехера. Эта скоба, стороны которой равны 15 мм, вытравлена непосредственно на печатной плате.

4.2.2.4. Супергетеродинные приемники

Чувствительность и эксплуатационная надежность сверхрегенеративных приемников отвечают всем требованиям, предъявляемым к аппаратуре дистанционного управления моделями. Недостатком приемников является большая полоса пропускания, которая не позволяет одновременно работать нескольким комплектам аппаратуры. Этот недостаток может быть устранен включением в схему сверхрегенератора селектирующего звена, например кварцевого фильтра. Но в практике дистанционного управления выбран иной способ усовершенствования приемников, не требующий применения очень дорогого кварца.

В радиотехнике уже давно используется принцип гетеродинного приема. При установке кварцевого резонатора частоты в гетеродинный каскад простым способом можно создать приемник, полоса про-

пускания, точность установки и стабильность частоты которого отвечают требованиям табл. 2. Использование кварцев, имеющих штырьковое включение, позволяет, как и в передатчике, просто и быстро производить смену канала. По этому направлению идет развитие аппаратуры дистанционного управления моделями во всем мире.

При рассмотрении большого количества образцов этой аппаратуры, как и в случае сверхрегенеративных приемников, можно будет выделить стандартные схемные решения супергетеродинных приемников. Условия управления моделями и имеющиеся схемные элементы позволяют использовать лишь небольшое число оптимальных вариантов решений.

Техническое решение супергетеродинного приемника управления моделью определяется в основном требуемой чувствительностью, устойчивостью к перегрузке, а также полосой пропускания. Если супергетеродинный приемник имеет основную чувствительность около 5 мкВ, то при выходных мощностях, указанных в разделе 4.2.1, можно получить дальность действия 800—1000 м. Этого вполне достаточно для управления моделью, и такой приемник моделист может без труда собрать по одному из известных вариантов схем.

Во многих случаях, особенно при дистанционном управлении судомоделями, достаточно небольшой чувствительности и дальности действия. На судомоделях с электроприводами, в большинстве случаев являющимися источниками мощных высокочастотных помех, даже целесообразно использовать приемник, имеющий сниженную чувствительность.

Отсюда следует, что чувствительность приемника необходимо выбирать в зависимости от условий его работы и что высокочувствительный супергетеродинный приемник не всегда является лучшим. Особые требования следует предъявлять к работе этих приемников при приеме больших сигналов. Они должны быть устойчивыми к перегрузке и работать в непосредственной близости к передатчику (например, в случае удержания модели в руке, что соответствует расстоянию между передатчиком и приемником около 1 м) при напряженности поля 450 мВ/м так же надежно, как и при напряженности поля 5 мкВ/м. Для этого необходима возможность эффективной регулировки приемника.

Требования к супергетеродинному приемнику в отношении полосы пропускания определяются разбивкой используемой полосы частот на каналы (см. табл. 2). Супергетеродинный приемник должен иметь одинаковые избирательности на всех каналах.

Анализ применяемых схем приемников показывает почти стандартное их построение, которое представлено на блок-схеме (рис. 153). Приемная антенна работает на входной контур, который в большинстве случаев имеет вид двухкон-

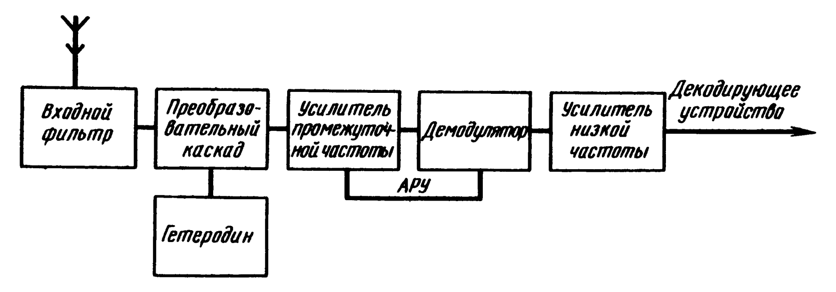


Рис. 153
Блок-схема супергетеродинного приемника, предназначенного для дистанционного управления моделями

турного LC-фильтра. Гетеродин стабилизируют кварцем. Преобразовательные каскады с собственным гетеродином в приемниках, предназначенных для дистанционного управления, больше не применяют, поэтому в большинстве случаев используют преобразовательные каскады с автоматической регулировкой усиления (АРУ). Усилитель промежуточной частоты, как правило, выполняют с тремя LC-фильтрами, причем один или два каскада усиления промежуточной частоты имеют АРУ. Для демодуляции и получения напряжения АРУ используют как диоды, так и транзисторы.

С помощью кварца супергетеродинный приемник настраивают на канальные частоты, превышающие частоту гетеродина. В результате для равномерного селектирования и усиления всех канальных частот входной контур должен иметь полосу пропускания по высокой частоте $B_{HF} \approx 325$ кГц. Гетеродин генерирует колебания высокой частоты (меньше канальной на величину промежуточной частоты, составляющей 455 или 460 кГц), которая смешивается с принятой от антенны и предварительно отселектированной модулированной высокой частотой. При смешении образуются суммарные и разностные частоты, а также их высшие гармоники. Селективный контур (фильтр) в преобразовательном каскаде из смеси частот отфильтровывает лишь одну из них — промежуточную частоту ω_{ZF}, получаемую в виде разности принятой высокой частоты ω_{HF} и частоты гетеродина $\omega_{O_{sz}}$:

$$\omega_{ZF} = \omega_{HF} - \omega_{O_{sz}}. \qquad (65)$$

Затем напряжение промежуточной частоты усиливается и селектируется в обоих последующих каскадах усиления промежуточной частоты. Таким образом, усилитель выполняет в основном задачу усиления и селекции сигнала.

При использовании трех фильтров можно получить достаточно узкую кривую избирательности. Однако при выборе ширины кривой приходится идти на компромисс. С одной стороны, полоса пропускания по промежуточной частоте должна быть как можно у́же, чтобы обеспечить достаточную

избирательность по соседнему каналу, с другой — достаточно широкой для неискаженной передачи импульсов или верхних низких частот без потери их усиления.

По аналогии с полосой пропускания передатчика полосу пропускания по промежуточной частоте B_{ZF} следует принять равной 10 кГц, чтобы получить полосу пропускания по низкой частоте $B_{NF} = 5$ кГц. К ним необходимо добавить полосы частот, появляющиеся за счет разбросов частоты кварца $\Delta f/f = 30 \cdot 10^{-6}$ и при частоте 27,12 МГц для кварцев передатчика и приемника приводящие к максимальному разбросу частоты $\Delta f = 1{,}63$ кГц. Этот разброс частоты должен быть включен в ширину полосы пропускания по промежуточной частоте, поэтому получают: $B_{ZF} = 11{,}63$ кГц. Поскольку в большинстве случаев используют кварцы меньшей точности, чем указано выше, то эту ширину следует увеличить еще более. Фактическим условиям отвечает полоса пропускания $B_{ZF} = 15$ кГц. Разбивкой полосы частот 27,12 МГц на каналы через каждые 20 (30) кГц обеспечивают достаточный интервал надежности в отношении перекрестных помех со стороны соседнего канала.

При разбивке полосы частот через каждые 10 кГц для обеспечения необходимого интервала надежности приходится использовать все возможности для уменьшения полосы пропускания по промежуточной частоте, такие как сужение полосы пропускания по низкой частоте до $B_{NF} = 3$ кГц и установка прецизионных кварцев. В цифровой аппаратуре это возможно, но в аппаратуре дискретного дистанционного управления канальные низкие частоты не должны превышать 3 кГц.

В супергетеродинных приемниках, предназначенных для дистанционного управления, используют миниатюрные фильтры от средневолновых карманных приемников, рассчитанных на интервал между каналами (соответственно разносу частот двух передатчиков) от 12 до 15 кГц. Чтобы получить удовлетворительное подавление сигналов соседнего канала, полоса пропускания по промежуточной частоте выбрана равной 6 кГц (что соответствует полосе пропускания по низкой частоте 3 кГц). За счет этого полосы пропускания, реализуемые с помощью этих фильтров, лежат на нижнем пределе значений, необходимых для управления моделями. Так как карманные супергетеродинные приемники настраивают на частоту передатчика вручную, из-за разброса частоты кварца исчезает запас по полосе пропускания.

Таким образом, при установке миниатюрных фильтров от переносных супергетеродинных приемников требуемую полосу пропускания задают соответствующей настройкой. Для этого фильтры незначительно расстраивают относительно промежуточной частоты. За счет сдвига точки резонанса резонансная кривая становит-

ся шире. Настройку ведут при неперегруженном приемнике (передатчик с убранной антенной должен находиться на расстоянии 10 м), контролируя по осциллографу правильность формы импульсов.

Решающее влияние на работу аппаратуры дистанционного управления при перечисленных условиях оказывают добротность и правильность настройки фильтров промежуточной частоты. Проблемы, связанные с полосой пропускания, возникают при разработке схемы не только передатчика, но и приемника (рис. 154).

Антенны

Хотя антенна является простой деталью, но оказывает большое значение на КПД передатчиков и приемников. Ниже приводятся теоретические положения по применению антенны, дополненные в разделе 6 практическими указаниями по их конструированию.

Антенна приемника должна принимать высокочастотную энергию и с высоким КПД преобразовывать ее в электрическую энергию, передаваемую по проводам. Поэтому среди радиолюбителей распространена поговорка: «Хорошая антенна — лучший усилитель высокой частоты». Именно антенна приемника определяет в основном дальность действия и эксплуатационную надежность аппаратуры дистанционного управления.

Приемлемой антенной, учитывая ее длину, можно считать заземленную четвертьволновую антенну, называемую также антенной Маркони. Следовательно, для работы в полосе частот 27,12 МГц длина антенны составляет $l \approx 2{,}60$ м. Но в практике моделизма для супергетеродинных приемников используют только антенны от 0,9 до 1 м, которые слишком коротки, да еще и изогнуты. Так как антенны работают без удлинительных катушек и без «противовесов», то падает чувствительность приемника. Для повышения дальности действия аппаратуры устанавливают настраиваемую антенну приемника. В соответствии с требованиями условий безопасности удлинительную катушку помещают как можно ближе к точке ввода антенны. «Противовес» должен иметь хороший контакт с массой приемника.

Даже если не предусмотрено никаких специальных мер по настройке и согласованию антенны, при жесткой связи обоих контуров антенна сильно воздействует на входной контур. Прямое влияние на настройку входного контура оказывает длина антенны. Если приемник предварительно настроен, то на модель необходимо устанавливать антенну той длины, на которую он рассчитан. Использование антенны с другими электрическими параметрами (например, при смене модели) равнозначно расстройке входного контура.

Если все же приходится пользоваться различными антеннами, то связь антенны должна быть слабой (конденсатор малой емкости) или входной контур необходимо

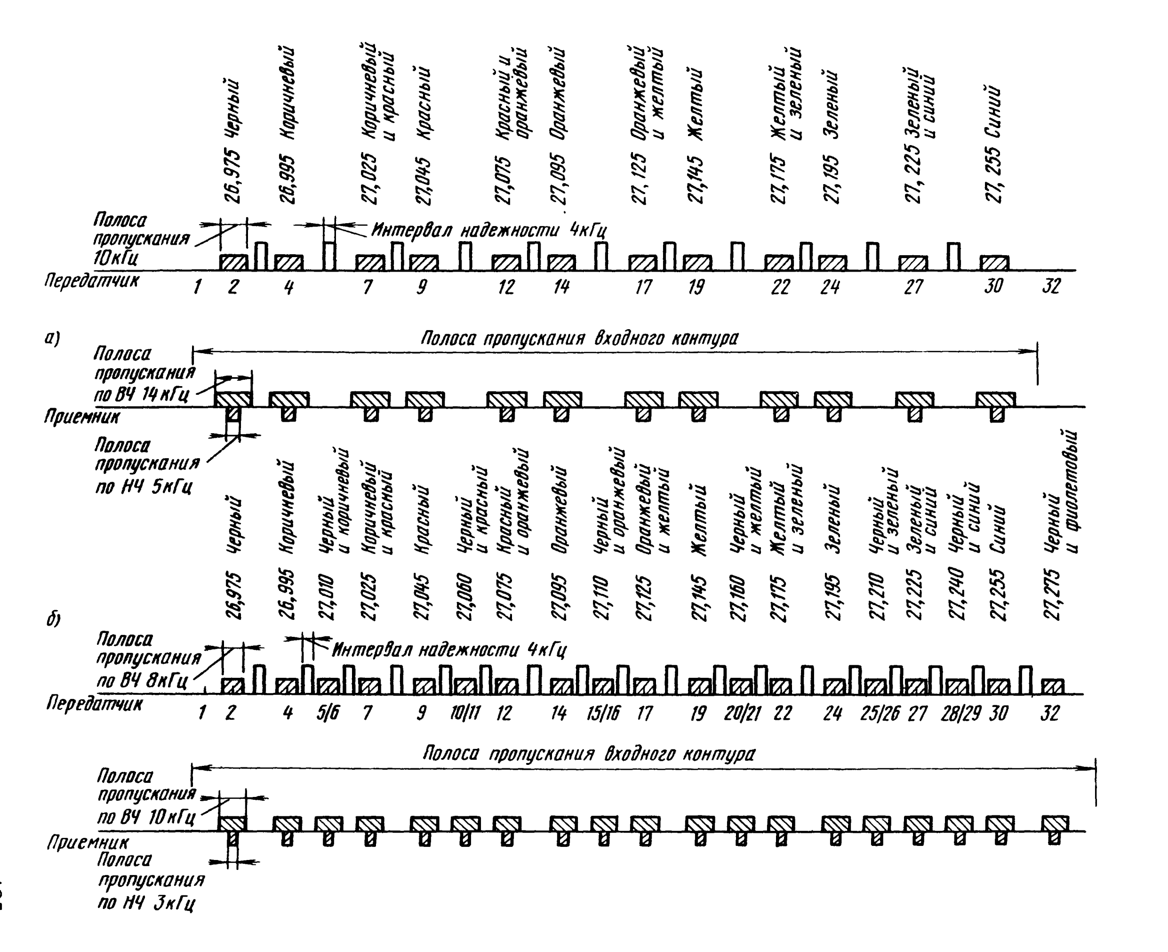


Рис. 154
Разбивка полосы частот 27,12 МГц на каналы: *а* — через каждые 20 (30) кГц; *б* — через каждые 15 (20) кГц

подстраивать при каждой смене антенны. Антенна приемника является деталью, которая чаще всего повинна в неправильной работе аппаратуры. При соблюдении физических законов с помощью простых средств можно получить оптимальные результаты от антенны. Поэтому необходимо выполнять практические указания, приведенные в разделе 6.

Входной каскад

В супергетеродинных приемниках входной каскад является первым селективным каскадом, а во многих схемах — также и первым усилительным каскадом. Так как супергетеродинный приемник *mini-Superhet* аппаратуры дистанционного управления *Varioprop* имеет некоторые интересные особенности, его следует рассмотреть в качестве примера (рис. 155). Входной каскад состоит из входного контура, включающего фильтр *F101* и конденсаторы *C103, C104*, и селективного каскада усиления, собранного на полевом транзисторе *T103* и фильтре *F102*. Для обеспечения жесткой связи с антенной длиной 100 см предназначен конденсатор *C101* емкостью 39 пФ. Согласование колебательного контура по входному сопротивлению полевого транзистора, включенного по схеме с общим затвором, выполнено с помощью емкостного делителя напряжения *C103, C104*.

При разработке входного контура пользуются такими правилами:

усиление мощности входного

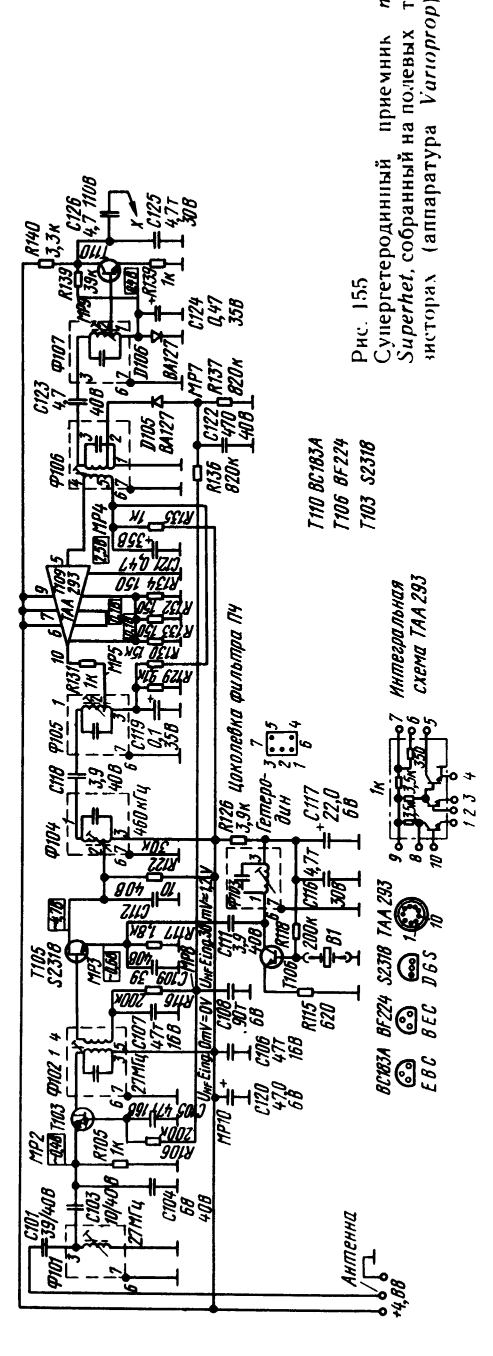


Рис. 155. Супергетеродинный приемник *mini-Superhet*, собранный на полевых транзисторах (аппаратура *Varioprop*)

контура, имеющего параллельный колебательный контур, возрастает с увеличением полосы пропускания, если увеличение вызвано усилением демпфирования извне, более жесткой связью генератора (сопротивление антенны) или нагрузки (входное сопротивление нагрузки);

усиление зависит не только от согласования с сопротивлением нагрузки, но и от отношения рабочего затухания d_B к затуханию ненагруженного контура d_0.

Отсюда можно сделать следующие выводы:

входной контур должен иметь большую добротность ($d_0/d_B \to max$);

каскады должны иметь такую жесткую связь, чтобы можно было получить требуемую полосу пропускания;

согласование каскадов следует выполнять по возможности точнее.

Отличием схемы приемника *mini-Superhet* от большинства используемых для дистанционного управления супергетеродинных приемников является применение полевого транзистора во входном каскаде. Речь идет о полевом транзисторе, специально изготовленном для этого приемника, так как в схеме, напряжение питания которой равно 4,8 В, он должен иметь требуемую крутизну. Номинальное напряжение, необходимое для транзисторов такого типа, обычно выше и составляет от 9 до 12 В. Полевые транзисторы установлены во входном и преобразовательном каскадах прежде всего благодаря своим особым свойствам.

Решающим для эксплуатационной надежности аппаратуры дистанционного управления является не чувствительность супергетеродинного приемника, а его работа в режиме больших сигналов. При параллельной работе на соседних каналах (и при небольшом интервале между каналами) передатчиков одинаковой мощности, расположенных в непосредственной близости от передатчика, все они являются источниками помех для собственного приемника. Один или два входных контура не смогут демпфировать сигналы всех этих мешающих передатчиков, так как входные контуры должны пропускать сигналы во всей используемой полосе частот. Поэтому сильный сигнал помехи неослабленным достигает преобразовательного каскада и приводит здесь к явлениям перекрестной и взаимной модуляций.

Если принимаемая несущая частота модулируется по амплитуде частотой передатчика помехи, то такая модуляция называется перекрестной. Коэффициент перекрестной модуляции принимаемой несущей частоты рассчитывают по формуле:

$$m_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{S''}{S} \cdot m_S \cdot U^2{}_S, \qquad (66)$$

где m_k — коэффициент перекрестной модуляции, $S(Y_{21})$ — крутизна, S'' — вторая производная крутизны, m_S — коэффициент модуляции передатчи-

ка помехи, U_S — эффективное значение несущей частоты помехи.

Уравнение (66) позволяет сделать следующие выводы:

перекрестная модуляция не зависит от мощности принимаемого сигнала;

в пределах полосы пропускания входного контура перекрестная модуляция не зависит от разницы частот передатчика помехи и передатчика принимаемого сигнала.

Отношение S''/S определяется кривизной характеристики транзистора и почти у всех биполярных транзисторов имеет слишком большую величину. Наиболее приемлемыми здесь являются полевые транзисторы, имеющие примерно квадратичную характеристику управления. Производная квадратичной характеристики имеет постоянный наклон, благодаря чему перекрестная и взаимная модуляции появиться не могут. Следовательно, с помощью полевого транзистора во входном каскаде можно эффективно снизить влияние перекрестной модуляции. Но чтобы она затем не появилась в преобразовательном каскаде, усиление входного каскада поддерживают малым, а преобразовательный каскад также собирают на полевом транзисторе.

Перекрестная модуляция типична для амплитудной модуляции и не появляется при частотной. Режим больших сигналов является решающим для оценки супергетеродинного приемника, поэтому частотная модуляция представляет особый интерес для радиоуправления моделями.

Малое усиление входного каскада приводит к тому, что шум этого каскада составляет заметную долю в общем коэффициенте шума приемника, ограничивая чувствительность приемника.

Отношение сигнал/шум также зависит от типа модуляции, коэффициента модуляции, полосы пропускания, характеристик транзистора и от других факторов. Входной каскад оценивают по коэффициенту шума F (называемому также шум-фактором). Так как для супергетеродинных приемников, предназначенных для дистанционного управления, важное значение имеет режим работы при больших сигналах, необходимо добиваться малого коэффициента шума как входного, так и преобразовательного каскадов.

Входные каскады предназначены не только для селекции и усиления, но и для предотвращения излучения частоты гетеродина через антенну. Это свойство входного каскада называется обратным демпфированием. Как видно из рис. 155, входной и преобразовательный каскады имеют регулировку.

Регулировка особенно важна для супергетеродинного приемника, который в пределах дальности действия должен сохранять приблизительно постоянное выходное напряжение, хотя напряжение высокой частоты на входе изменяется при этом на несколько порядков (от нескольких сотен мВ до

примерно 5 мкВ). Колебания напряженности поля обусловлены не только различными расстояниями между приемником и передатчиком, но и изменением плоскости поляризации антенны, что особенно проявляется при управлении авиамоделями. Надежность работы декодирующего устройства зависит в основном от постоянства входного напряжения, поэтому при небольших напряженностях высокочастотного поля приемник должен иметь большое усиление, а при больших напряженностях — малое.

Предотвратить отрицательное влияние колебаний напряжения на входе можно регулированием усиления приемника, т. е. автоматической регулировкой усиления (АРУ). Для получения необходимого диапазона регулирования в супергетеродинных приемниках, собранных на биполярных транзисторах, цепью АРУ охватывают один или два каскада усиления промежуточной частоты. Регулировку можно улучшить включением демпферных диодов.

Для регулирования усиления транзисторного каскада параметр четырехполюсника Y_{21} должен быть переменным. Регулирование на понижение параметра является наиболее простым и применяется почти исключительно для супергетеродинных приемников, используемых для дистанционного управления. Если усиление необходимо снизить, то при регулировании по этому методу снижают ток эмиттера (в случае полевых транзисторов — ток истока). При регулировании на понижение параметра пользуются тем, что при малых токах эмиттера крутизна характеристик транзистора пропорциональна току:

$$Y_{21} \approx S - \frac{I_E}{U_{CE}}. \qquad (67)$$

Такая пропорциональность наблюдается, когда разность напряжений между коллектором и эмиттером больше остаточного напряжения транзистора. Уравнение (67) не выполняется при больших токах эмиттера.

Регулирование на понижение параметра может быть использовано для транзисторов всех типов. Оно просто и не требует большой мощности. Регулирование на повышение параметра или смешанное изменение тока эмиттера и напряжения коллектора в супергетеродинных приемниках, предназначенных для дистанционного управления, не применяют из-за их большей сложности.

В отличие от схем супергетеродинных приемников, собранных на биполярных транзисторах, в схеме приемника, представленной на рис. 155, регулировкой охвачены не первый и второй каскады усиления промежуточной частоты, а входной и преобразовательный каскады. Напряжение регулирования снимается с фильтра *F106* и выпрямляется диодом *D105*. Выпрямленное напряжение через резисторы *R106* и *R116* подается на входной и преобразовательный каскады

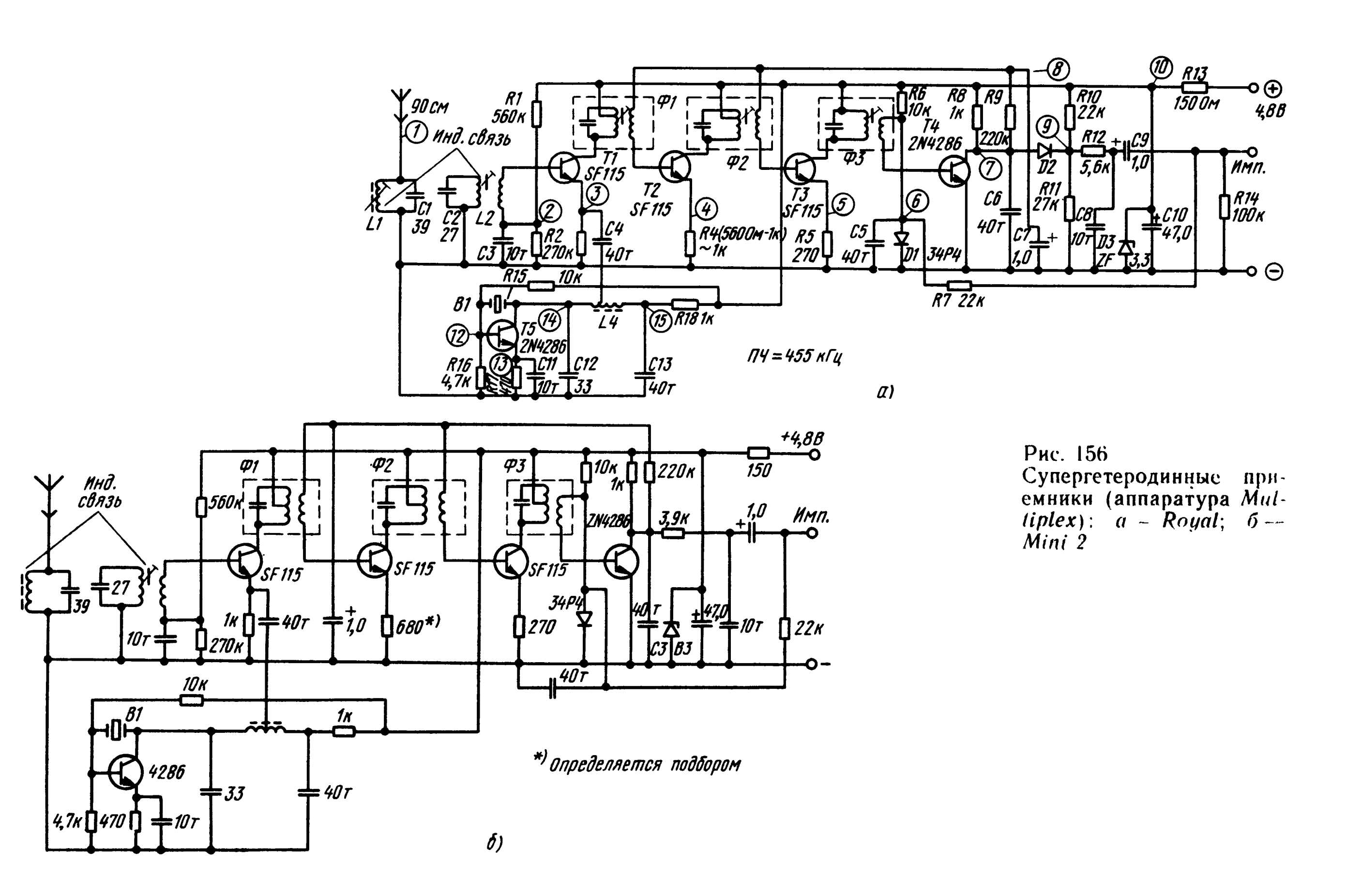


Рис. 156
Супергетеродинные приемники (аппаратура Multiplex): а – Royal; б — Mini 2

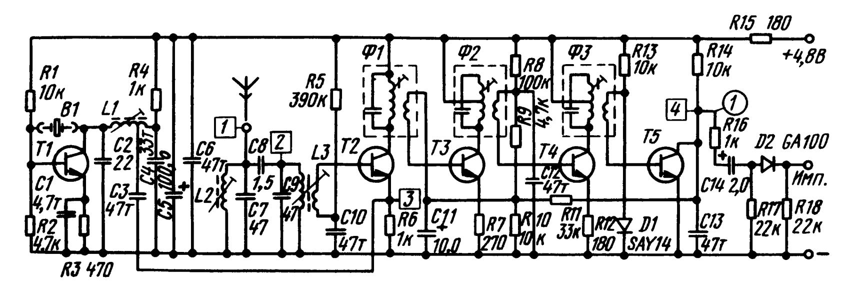


Рис. 157
Супергетеродинный приемник (аппаратура *Start dp*). Транзисторы *T1-T4* типа *SF 215*, транзистор *T5* типа *SC 206*

Характеристики полевых транзисторов позволяют производить регулирование этих каскадов при отсутствии перекрестной модуляции.

При использовании биполярных транзисторов во входном и преобразовательном каскадах рабочую точку стараются установить на участке малой кривизны характеристики для сохранения малого значения перекрестной модуляции. Но регулирование на понижение параметра рабочей точки способствует переходу в область большой кривизны характеристики, что равнозначно появлению перекрестной модуляции. Поэтому, применяя биполярные транзисторы, отказываются от регулирования входного и преобразовательного каскадов и регулируют только каскады усиления промежуточной частоты. Типичным примером выполненного таким образом супергетеродинного приемника является приемник аппаратуры дистанционного управления *Multiplex* (рис. 156). Его схема незначительно отличается от схемы приемника аппаратуры *Start dp* (рис. 157). Транзистор демодулятора *T5* одновременно с демодуляцией дает напряжение регулирования (напряжение АРУ) первого и второго каскадов усиления промежуточной частоты. В отличие от схемы рис. 155 здесь входной каскад состоит из одного фильтра и двух контуров, собранных на *LC*-цепочках *L1*, *C1* и *C2*, *L2*. Контуры имеют слабую индуктивную связь за счет закрепления катушек *L1* и *L2* на расстоянии около 10 мм от платы. Такая слабая связь значительно повышает избирательность входного фильтра.

Преобразовательный каскад

При сравнении преобразовательных каскадов на рис. 155 и 156 можно видеть их общность. Постоянная промежуточная частота супергетеродинного приемника образуется в преобразовательном каскаде при наложении частоты принимаемого сигнала на частоту гетеродина. Для смешения двух частот необходима криволинейная характеристика. Поэтому в этом каскаде особенно целесообразна установка транзистора.

Сущность КПД преобразовательного каскада следует по-

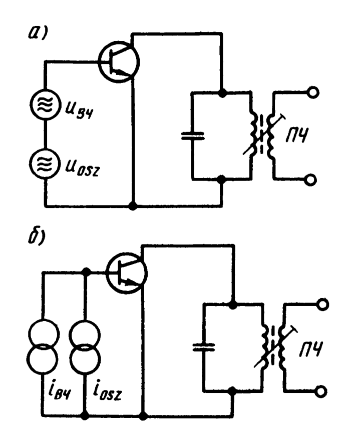


Рис. 158
Принципиальная схема преобразовательного каскада: *а* — с последовательным питанием; *б* — с параллельным питанием

яснить на принципиальной схеме рис. 158. На вход преобразовательного каскада подаются два напряжения: напряжение принимаемой частоты U_{HF} и напряжение частоты гетеродина U_{Osz}. Последующее изложение будет касаться нормального случая, когда $U_{HF} < U_{Osz}$. В большинстве случаев применяют аддитивное смешивание. При подаче суммы этих напряжений на транзистор, имеющий криволинейную характеристику, образуются высшие гармоники и смешанные частоты (суммы и разности основной частоты и высших гармоник). Частотой, представляющей в данном случае интерес, является промежуточная частота ω_{ZF}, определяемая уравнением (65). Эта частота отфильтровывается из смеси частот и затем усиливается.

Эквивалентная схема (рис. 158, *а*) позволяет сделать некоторые дополнительные выводы. Источники напряжений U_{HF} и U_{Osz} представлены в виде идеальных источников, имеющих нулевое внутреннее сопротивление, т. е. все напряжения, и в особенности U_{ZF}, падают на участке база-эмиттер транзистора. Если бы источники напряжений имели конечные внутренние сопротивления, то на них падала бы и часть напряжения U_{ZF}, что нежелательно. Поэтому на практике необходимо обращать внимание на то, чтобы источник напряжения промежуточной частоты U_{ZF} имел минимальное внутреннее сопротивление, так как это напряжение, падающее вне участка база-эмиттер транзистора, теряется для усиления.

Возможно также параллельное включение источников напряжения (рис. 158,*б*). Выводы, сделанные для схемы последовательного включения, справедливы и здесь. Чтобы один из источников тока не создавал собой нулевого сопротивления для другого источника, они должны иметь большие внутренние сопротивления. Этого достигают включением конденсатора малой емкости. Так как оба источника имеют большие сопротивления, необходимое короткое замыкание по промежуточной частоте отсутствует.

Чтобы реализовать это короткое замыкание без использования дополнительных схемных элементов, применяют схемы, в которых одновременно присутствуют оба варианта

питания: параллельное и последовательное. Гетеродин в большинстве случаев работает как генератор тока (связь гетеродина осуществлена с помощью конденсатора малой емкости), в то время как генератор напряжения (входной каскад) имеет малое внутреннее сопротивление по принимаемой частоте. Внутреннее сопротивление генератора напряжения достаточно велико, чтобы не замыкать накоротко напряжение гетеродина, но достаточно мало, чтобы играть роль нулевого сопротивления по промежуточной частоте. Индуктивное сопротивление катушки связи усиливает этот эффект за счет своей зависимости от частоты.

В обеих схемах, показанных на рис. 158, достаточно малое сопротивление по промежуточной частоте обеспечено с помощью катушки связи *F102* и конденсатора *C107*. В схеме, приведенной на рис. 156, *а*, связь гетеродина выполнена низкоомной с помощью конденсатора *C4* и отвода от средней точки катушки *L4*. Эта цепочка используется для короткого замыкания по промежуточной частоте и получения большого усиления при преобразовании. Поэтому в супергетеродинных приемниках, применяемых для дистанционного управления, используют биполярные транзисторы (см. рис. 162 и 164).

При работе преобразовательного каскада $U_{Osz} > U_{HF}$. Чтобы получить максимальную крутизну преобразования, напряжение U_{Osz} выбирают равным от 100 до 150 мВ.

Как уже было сказано, при преобразовании образуется множество частот. Это приводит к возможности приема сигналов по зеркальной частоте. В принципе возможен прием на каждой частоте, которая при смешении с частотой гетеродина дает промежуточную частоту. Важнейшей из таких частот является зеркальная, определяемая разностью:

$$\omega_{ZF} = \omega_{Osz} - \omega_{HF}. \qquad (68)$$

Взаимное положение частот передатчика f_{HF}, гетеродина f_{Osz} и зеркальной частоты f_{Sp} показано на рис. 159.

Характеристика приемника, отражающая его реакцию на появление этой частоты, называется помехозащищенностью по зеркальной частоте. Промежуточная частота, равная 455 или 460 кГц, при работе в полосе частот 27,12 МГц вызывает ряд проблем. Для усилителя промежуточной частоты безразлично, образовалась ли эта частота согласно разности уравнения (65) или (68), так как он осуществляет усиление любой частоты, равной 455 или 460 кГц. При промежуточной частоте 460 кГц зеркальная

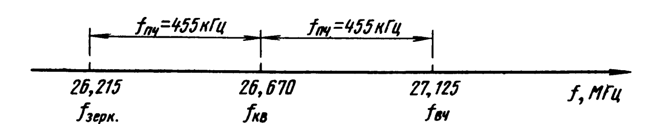


Рис. 159
Схема, поясняющая положение зеркальной частоты

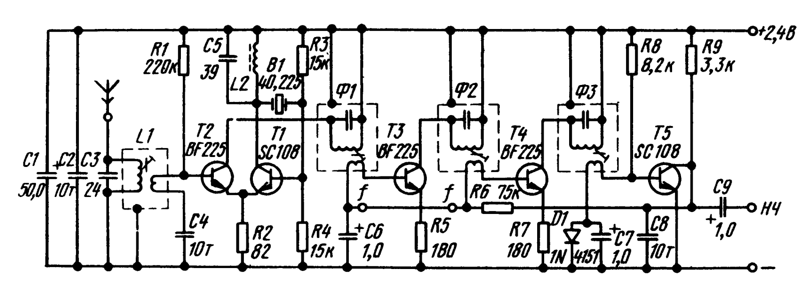
частота лишь на 920 кГц меньше принимаемой частоты. Но входные контуры приемника должны быть настолько широкополосными, чтобы смена каналов была возможна без их подстройки. Следовательно, зеркальная частота, лежащая в полосе 25,335—26,055 МГц, претерпевает лишь незначительное подавление по сравнению с принимаемой частотой.

Фильтр в качестве входного контура (как это показано на рис. 156) обеспечивает лучшую помехозащищенность по зеркальной частоте, чем простой колебательный контур на входе. Самым целесообразным является обеспечение тщательной настройки входного контура и минимальной возможной связи контуров. Наилучшую помехозащищенность по зеркальной частоте получают при настройке входного контура на один канал, поэтому перед настройкой супергетеродинного приемника необходимо определить, на скольких каналах предусмотрена работа аппаратуры. С помощью тщательной настройки можно значительно повысить ее помехозащищенность.

Помехозащищенность по зеркальной частоте можно повысить также посредством увеличения промежуточной частоты. Например, при ее величине 10,7 МГц помехозащищенность значительно улучшается. Видимо, этот путь при разработке современной аппаратуры с частотной модуляцией является перспективным.

Еще более упростить схему преобразовательного каскада можно подключением эмиттеров транзисторов гетеродинного и преобразовательного каскадов к общему резистору (рис. 160). Благодаря этому получают короткое замыкание по промежуточной частоте в цепи эмиттера, но уменьшают усиление транзистором *T2*. В результате схема обеспечивает меньшую чувствительность по сравнению со схемой рис. 156. При установке высококачественных фильтров промежуточной частоты и хороших транзисторов в каскадах ее усиления чувствительность можно снова поднять. Рабочая точка преобразовательного каскада устанавливается резис-

Рис. 160
Супергетеродинный приемник (аппаратура *Picoprop*). Катушки *L1* и *L2* диаметром 4 мм, с подстроечниками, намотаны медным покрытым эмалью проводом диаметром 0,4 мм. *L1* имеет 3,5/2,5, *L2* 13 витков. *F1*, *F2*, *F3* сверхминиатюрные фильтры



тором $R2$ на оптимальную чувствительность.

В первое время супергетеродинные приемники, предназначенные для дистанционного управления, имели преобразовательные каскады с совмещенным гетеродином. Но затем перешли, почти исключительно, на преобразовательные каскады с отдельным гетеродином. Недостатки, вызываемые большим количеством схемных элементов, компенсируются следующими положительными качествами:

гетеродин стабильно работает даже при больших напряжениях высокой частоты на входе и при смене кварца;

гетеродин нечувствителен к сигналам, поступающим с антенны;

схема легче в настройке и менее сложна.

Кроме того, благодаря разделению гетеродина и преобразовательного каскада возможна регулировка последнего. В супергетеродинных приемниках, собранных на биполярных транзисторах, от регулировки преобразовательного каскада в большинстве случаев отказываются, так как это может привести к отклонению частоты.

Гетеродинный каскад

Частота гетеродина согласно уравнению (65) отличается от высокой частоты лишь на величину промежуточной частоты, равной 455 или 460 кГц, и ее стабильность и точность должны отвечать требованиям, предъявляемым к соответствующим показателям высокой частоты передатчика. Поэтому схемы гетеродинов идентичны схемам автогенераторов передатчиков. Для простоты и быстроты смены каналов кварцы, как и в передатчиках, имеют штырьковое соединение.

Как моделисты, так и промышленные предприятия при разработке аппаратуры дистанционного управления стремятся использовать в ней современные элементы, применяемые в коммерческой радиоаппаратуре, для которой поставляются интегральные схемы, выполняющие задачи усилителя промежуточной частоты и демодулятора при частотной модуляции, усилителя промежуточной частоты и демодулятора при амплитудной и частотной модуляциях или даже входного контура, преобразовательного каскада и регулируемого усилителя промежуточной частоты. В 1972 г. в супергетеродинном приемнике *RE 4-C* была использована гибридная интегральная схема типа *TMC 003,* выполняющая функции входного каскада, преобразовательного каскада и усилителя промежуточной частоты. Это решение не оправдало себя, и выпущенный в 1973 г. приемник *RE 4-C* был выполнен на традиционных схемных элементах. Хорошие результаты, однако, дало применение интегральных схем для сборки преобразовательных каскадов, обеспечившее устойчивость их работы при больших сигналах и малый коэффициент шума.

При использовании для сборки преобразовательного

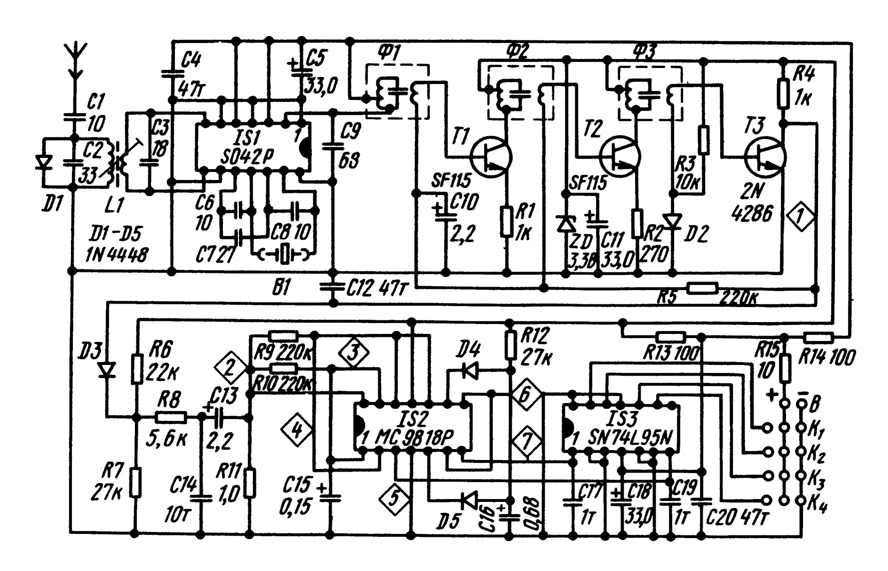


Рис. 161
Супергетеродинный приемник, в котором для сборки преобразовательного каскада использована интегральная схема типа *SO 42P* (аппаратура *Microprop-Hobby*). Диоды *D1-D5* типа *1N 4448*, транзисторы *T1* и *T2* типа *SF 115*

каскада супергетеродинного приемника интегральной схемы типа *SO 42P* (рис. 161) антенна через конденсатор *C1* емкостью 10 пФ имеет лишь слабую связь со входным контуром *C2, L1*. Благодаря такой связи небольшие изменения длины антенны незначительно расстраивают входной контур. Интегральная схема выполняет функции преобразователя и гетеродина. Усилитель промежуточной частоты выполнен на обычных схемных элементах.

Каскады усиления промежуточной частоты

Усилитель промежуточной частоты работает как усилитель высокой частоты, имеющий фиксированную настройку на частоту 455 или 460 кГц. При расчете и конструировании усилителя промежуточной частоты необходимо учитывать следующее.

Каскад усиления промежуточной частоты состоит из усилительного звена (транзистор) и одного или нескольких селективных четырехполюсников (фильтров). При расчете номиналов схемных элементов для каскада усиления промежуточной частоты добиваются, чтобы за счет соответствующего выбора рабочей точки была получена максимальная крутизна, а за счет согласования каскадов — максимальное усиление мощности.

Математический расчет этого каскада здесь не приведен, так как для супергетеродинных приемников, предназначенных для дистанционного управления, как правило, используют имеющиеся в продаже миниатюрные фильтры

от карманных транзисторных приемников. Все рассмотренные выше схемы приемников не требуют очень точного подбора типа фильтров, поэтому они могут быть собраны на фильтрах, имеющихся в продаже.

При установке рабочей точки транзистора, на котором собран каскад усиления промежуточной частоты, определенную роль играет обратная связь. В противоположность крутизне обратная связь является нежелательным свойством транзистора. При ее возникновении часть выходного напряжения возвращается на вход и может вызвать самовозбуждение.

Проводимость обратной связи для транзисторов зависит от частоты и в первом приближении ее можно охарактеризовать емкостью C_{CB}. Для усилителей высокой частоты выбирают транзисторы, имеющие малую проводимость обратной связи. Несмотря на это, схема должна быть такой, чтобы рабочие характеристики усилителя не были ухудшены обратной связью даже при неблагоприятных условиях эксплуатации (перепады температуры, изменение напряжения питания, перегрузки и т. д.), т. е. чтобы не наступало самовозбуждение каскадов. У современных транзисторов обратная связь настолько мала, что в большинстве случаев можно отказаться от специальных мероприятий по ее нейтрализации (рис. 155—157, 160 и 161).

Обратную связь можно также уменьшить с помощью разделения рабочих точек по постоянному и переменному токам в цепи коллектора. В схеме супергетеродинного приемника (рис. 162) в цепь коллектора введена *RC*-цепочка, на которой постоянное напряжение падает при падении переменного напряжения на колебательном контуре фильтра. RC-цепочка дает возможность получить большое усиление промежуточной частоты и исключить обратную связь даже при не очень качественных высокочастотных транзисторах. Приемник, собранный на таких схемных элементах (транзисторах, фильтрах), значительно более чувствителен, чем показанный на рис. 160. Проблемам крутизны (или усиления) и обратной связи необходимо уделять большое внимание при разработке усилителя промежуточной частоты, так как он производит основное усиление высокочастотного сигнала.

О значении большого усиления промежуточной частоты в одном каскаде усилителя уже было сказано. Но здесь следует добавить, что это большое усиление должно быть регулируемым в широком диапазоне. Необходимое усиление промежуточной частоты определяется минимальным U_{Emin} и максимальным U_{Emax} входным напряжением. И в том и в другом случаях на выходе демодулятора должно появляться одинаковое выпрямленное напряжение U_{R}. Если принять: $U_{Emin}=5$ мкВ, $U_{Emax}=5$ мВ и $U_{R}=0{,}5$ В, то усиление должно составлять:

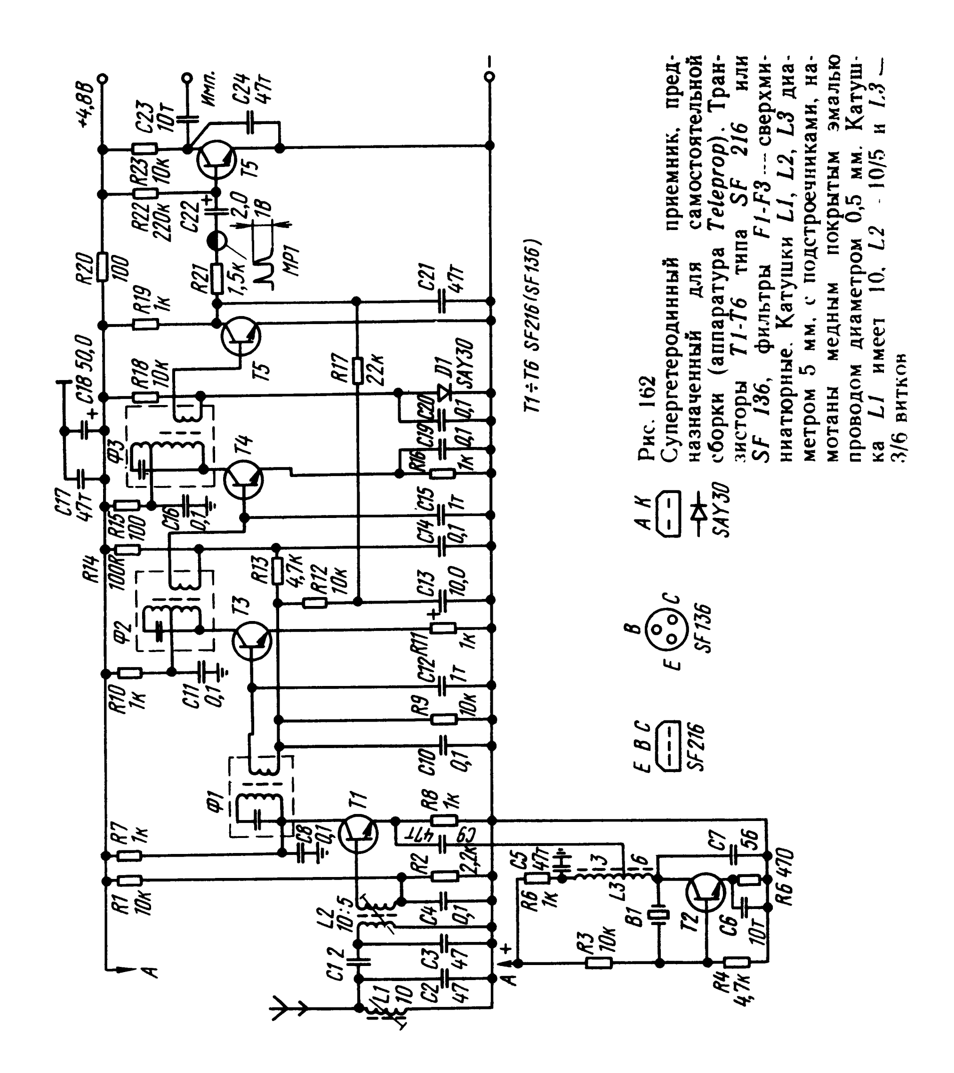


Рис. 162
Супергетеродинный приемник, предназначенный для самостоятельной сборки (аппаратура *Teleprop*). Транзисторы *T1-T6* типа *SF 216* или *SF 136*, фильтры *F1-F3* — сверхминиатюрные. Катушки *L1*, *L2*, *L3* диаметром 5 мм, с подстроечниками, намотаны медным покрытым эмалью проводом диаметром 0,5 мм. Катушка *L1* имеет 10, *L2* - 10/5 и *L3* — 3/6 витков

$$v_{U\,max} = \frac{U_R}{U_{E\,min}} = \frac{0{,}5\ \text{В}}{0{,}5\ \text{мк В}} = 10^5, \qquad (69)$$

$$v_{U\,min} = \frac{U_R}{U_{E\,max}} = \frac{0{,}5\ \text{В}}{0{,}5\ \text{м В}} = 10^2.$$

Таким образом, требуемый диапазон регулирования составляет $v_U = 1000 = 60$ дБ. С помощью только одного каскада этот диапазон регулирования реализовать невозможно. Поэтому регулировкой охватывают первый и второй каскады усиления промежуточной частоты (рис. 156, 157, 160 — 162).

Усилитель промежуточной амплитудномодулированной частоты должен иметь хорошую линейность. Для уменьшения

нелинейных искажений ток эмиттера должен быть минимальным, т. е. таким, при котором транзистор работает еще как усилитель малых сигналов. Но диапазон регулировки второго каскада усиления не следует выбирать слишком большим. Так как этот каскад работает уже как усилитель больших сигналов, при большом диапазоне регулирования следует считаться с искажениями. Разработчики других схем (рис. 163 и 164) пошли на компромисс, сделав регулируемым только первый каскад усиления промежуточной частоты. Следовательно, в непосредственной близости от передатчика наступает перегрузка приемника.

Предложены различные варианты схем усилителей промежуточной частоты, обеспечивающих необходимую избирательность. Метод концентрированной селекции реализован с помощью двух фильтров, установленных в первом и во втором каскадах (рис. 155). Благодаря этому стало возможным сконцентрировать полное усиление промежуточной частоты в одном каскаде, которая затем подается на трехкаскадный усилитель высокой частоты, функции которого выполняет интегральная схема типа *TAA 293*. С помощью слабой емкостной связи получают требуемую ширину полосы пропускания.

Применение метода распределенной селекции отличает большую часть известных схем супергетеродинных приемников. Во всех рассмотренных схемах для селекции предназначены *LC*-фильтры. Делались попытки использовать для дистанционного управления механические (пьезоэлектрические) фильтры, преимуществом которых является простота схемных решений. Но так как в настоящее время характеристики пьезоэлектрических фильтров отличаются плохим постоянством при длительной работе, возвратились к традиционным *LC*-фильтрам.

Демодуляция амплитудномодулированных колебаний

Сигнал промежуточной частоты демодулируется в детекторном каскаде. Для демодуляции применяют диоды или транзисторы. Кроме низкой частоты в детекторном каскаде одновременно получают и напряжение регулирования входного контура, преобразовательного каскада или каскада усиления промежуточной частоты.

В схеме с диодным детектором (рис. 163) для демодуляции и получения напряжения регулировки предусмотрены два выпрямительных контура, собранных на диодах *D1* и *D2*. Это разделение необходимо потому, что детекторный контур должен подавать по возможности неискаженное напряжение низкой частоты, а контур регулирования — гладкое постоянное напряжение. Поэтому оба выпрямительных контура должны иметь разные постоянные времени.

После выпрямления напряжение регулирования еще раз проходит через фильтр нижних частот (для сглаживания).

14 Зак. 718

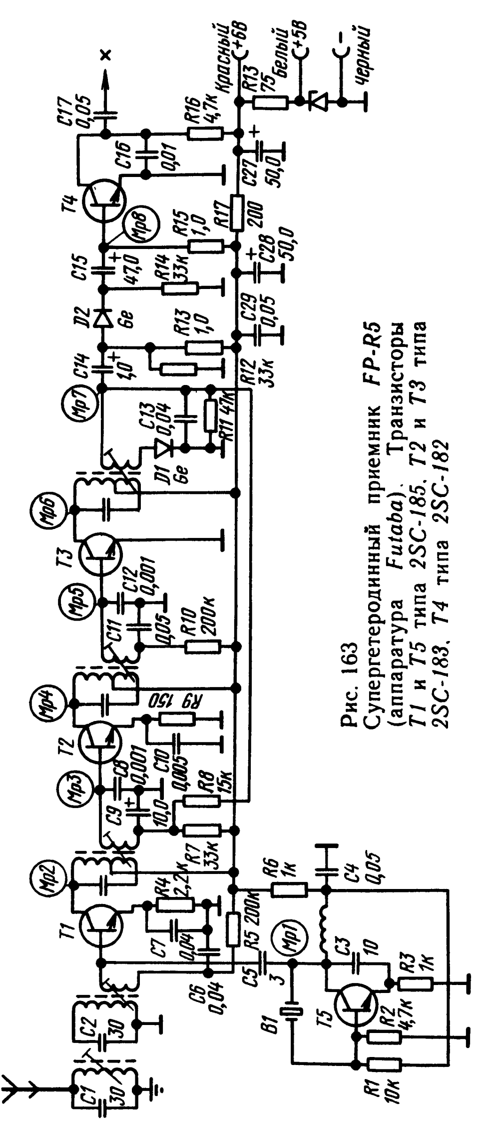


Рис. 163
Супергетеродинный приемник *FP-R5* (аппаратура *Futaba*). Транзисторы *T1* и *T5* типа *2SC-185*, *T2* и *T3* типа *2SC-183*, *T4* типа *2SC-182*

В схеме для этого предусмотрена *RC*-цепочка *R8, C9.*

При использовании транзисторов для получения напряжения регулировки возможны, как показывают приведенные примеры схем, сильно отличающиеся друг от друга варианты решений. Чаще всего, как например, в схеме рис. 162, напряжение регулировки снимают с коллектора транзистора. Конденсатор *C21* создает короткое замыкание по промежуточной частоте. Дополнительное сглаживание напряжения регулировки обеспечивают *R17* и *C13.*

При возрастании амплитуды напряжения промежуточной частоты напряжение между коллектором и массой уменьшается, т. е. на первый и второй каскады усиления промежуточной частоты поступает меньшее напряжение смещения. Эта схема является примером регулирования на понижение параметра. С помощью резистора *R13* диапазон регулирования второго каскада сужен по сравнению с диапазоном регулирования первого каскада, благодаря чему искажения, ожидаемые во втором каскаде, остаются в определенных пределах. Диод *D1* усиливает эффект регулирования, так как колебания промежуточной частоты, имеющие повышенную амплитуду, накоротко замкнуты на массу, не достигая базы транзистора *T5*. Использование транзисторов для демодуляции дает следующие преимущества:

у транзисторов в отличие от диодов уже при малых уровнях мощности квадратичное детектирование переходит в линейное, обеспечивающее меньшие искажения;

транзисторный демодулятор осуществляет одновременно и значительное усиление сигна-

ла, так как он работает в качестве первого каскада усиления низкой частоты;

транзисторный демодулятор без труда обеспечивает мощность, необходимую для регулирования.

В транзисторных демодуляторах диод «база-эмиттер» выпрямляет сигналы высокой частоты. С учетом сказанного выше, для этого следует выбирать участок динамической характеристики с наибольшей кривизной. Демодуляторный транзистор, который в этом случае должен иметь хорошие частотные характеристики, одновременно усиливает и напряжение низкой частоты, модулирующей несущую частоту сигнала. Это требует от демодуляторного транзистора также хороших характеристик усиления низкой частоты. Стремление использовать область характеристики с наибольшей крутизной приводит к увеличению эмиттерного тока. Поэтому идут на компромисс между демодуляцией и усилением. У кремниевых транзисторов эмиттерный ток I_E составляет от 100 до 150 мкА. Сопротивление нагрузки детекторного каскада целесообразно выбирать как можно бóльшим. Максимальная величина этого сопротивления определяется эмиттерным током и напряжением питания каскада.

Демодуляция не является единственной задачей детекторного каскада. В супергетеродинных приемниках, предназначенных для дистанционного управления, в детекторном каскаде получают и напряжение регулировки, с помощью которого регулируют входной каскад и каскады усиления промежуточной частоты. Регулирование такого типа, которое называют обратным, хорошо оправдало себя на практике. Благодаря более слабому регулированию предыдущих каскадов (входного контура и каскадов усиления промежуточной частоты) здесь возникают меньшие искажения, чем при регулировании каскадов усиления низкой частоты. При регулировании нескольких каскадов достигают большой крутизны регулирования, а при обратном регулировании для этого необходима относительно малая мощность. Для использования максимальной чувствительности приемника регулирование необходимо производить только после превышения входным напряжением порогового значения. Такое регулирование называется АРУ с задержкой (но не с задержкой по времени). По времени регулирование не должно иметь запаздывания, чтобы компенсировать быстрые колебания входного напряжения, вызванные, например, скоростным пилотированием авиамодели.

Супергетеродинный приемник аппаратуры *Fajtoprop* (рис. 164) выполнен на небольшом количестве схемных элементов. Регулировкой в нем охвачен только первый каскад усиления промежуточной частоты. От отрицательной обратной связи с помощью резистора в цепи эмиттера транзистора здесь отказались. Пока

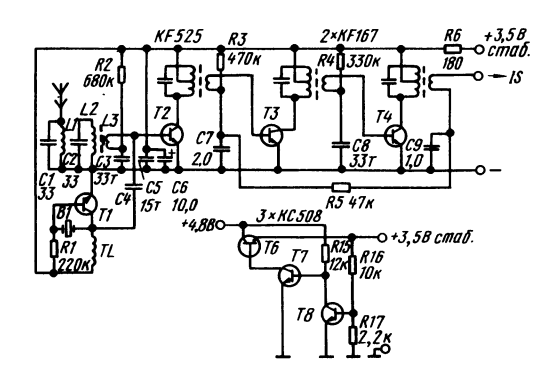


Рис. 164
Супергетеродинный приемник (аппаратура *Fajtoprop*)

рано делать вывод о том, оправдало ли себя это на практике.

Супергетеродинный приемник (рис. 165) при минимальном количестве схемных элементов должен отвечать всем требованиям, предъявляемым к приемникам аппаратуры дистанционного управления. Антенна длиной точно 90 см подключена ко входному контуру, выполненному в виде двухконтурного фильтра. Транзисторы преобразовательного и гетеродинного каскадов имеют общий резистор *R2* в их эмиттерных цепях. Для получения максимального усиления при преобразовании рабочая точка транзистора *T1* должна быть оптимально установлена с помощью точного подбора сопротивления резистора *R2*. Указанное же значение может быть принято лишь в качестве ориентировочного.

Усилитель промежуточной частоты выполнен в виде двухкаскадного регулируемого усилителя, обладающего хорошими селективными характеристиками. В приемнике, собранном по этой схеме, были использованы сверхминиатюрные фильтры от карманного приемника *Mikki*. Но, в принципе, здесь пригодны любые миниатюрные фильтры промежуточной частоты, используемые в транзисторных карманных приемниках.

Так как резисторы *R4* и *R6* в эмиттерных цепях транзисторов *T3* и *T4* не шунтированы по переменному току, они образуют отрицательную обратную связь. Для получения максимального усиления промежуточной частоты сопротивления этих резисторов необходимо замерить. *RC*-цепочка *R9, C2* снижает напряжение питания усилителя этой частоты, а также преобразовательного и гетеродинного каскадов и одновременно развязывает эти каскады от импульсного и декодирующего каскадов.

Транзистор *T5* производит демодуляцию промежуточной частоты и выделяет напряжение регулирования. Рабочую точку этого транзистора устанавливают с помощью делителя напряжения *R8, D1*. При этом обратное напряжение диода одновременно оказывает

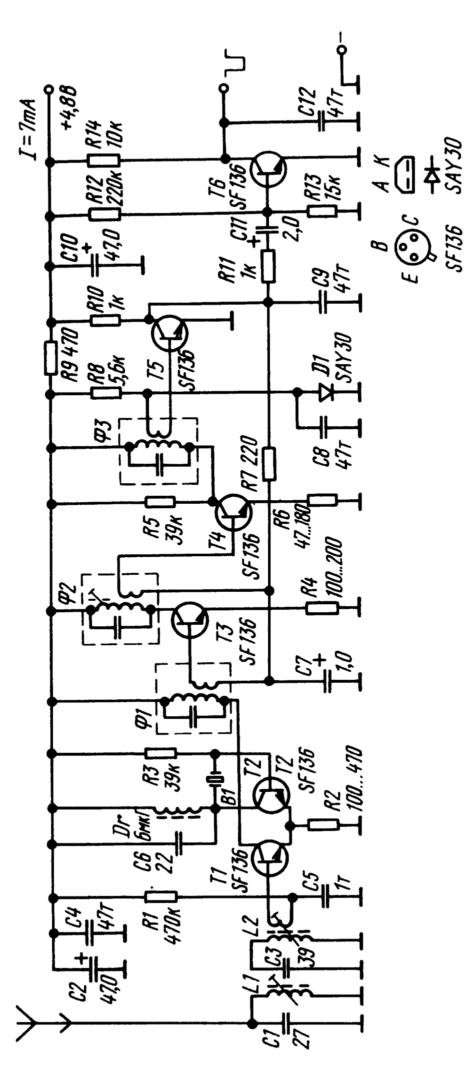


Рис. 165
Четырехканальный супергетеродинный приемник, предназначенный для сборки в любительских условиях. Катушки $L1$ и $L2$ диаметром 5 мм, с подстроечниками, намотаны медным покрытым эмалью проводом диаметром 0,4 мм. Катушка $L1$ имеет 12, $L2$ — 12/4 витка. Сопротивления резисторов $R2$, $R4$ и $R6$ определяются подбором

стабилизирующий эффект (подобно стабилитрону) и ограничивает слишком большой сигнал промежуточной частоты в непосредственной близости от передатчика. В транзисторе *T5* сигнал промежуточной частоты выпрямляется диодом «база-эмиттер» и усиленным появляется на коллекторе.

Установленный далее импульсный усилитель, собранный на транзисторе *T6*, усиливает демодулированный сигнал. Конденсатор *C9* отводит остаток промежуточной частоты на массу. Выпрямленное и приложенное к коллектору транзистора *T5* напряжение промежуточной частоты (последовательность импульсов) еще более сглаживается *RC*-цепочкой *R7*, *C7* и в виде регулируемого напряжения смещения базы подается на транзисторы *T3* и *T4*. При большой напряженности поля около приемника усиление преобразовательного каскада и каскадов усиления промежуточной частоты максимально. Благодаря этому потенциал на коллекторе транзистора *T5* становится более отрицательным и рабочие точки транзисторов *T3* и *T4* смещаются в сторону отрицательного потенциала, т. е. эти транзисторы начинают работать в области меньшего усиления, так как ток базы становится меньше.

С помощью такой автоматической регулировки усиления в широком диапазоне дальности действия напряжение сигнала на выходе приемника сохраняют приблизительно постоянным. Только в непосредствен-

ной близости от передатчика (на расстоянии менее 1 м) возможна перегрузка приемника, что приводит к непредусмотренным срабатываниям сервомеханизмов.

Импульсный усилитель, стоящий за детекторным каскадом, представляет собой нормальный усилитель на резисторах, рабочая точка которого устанавливается резисторами *R12* и *R13*. Конденсатор *C12* должен замыкать на массу короткие импульсы тока, возможно появляющиеся на коллекторе транзистора *T6*. Низкочастотный сигнал на выходе имеет форму кривой и управляет работой декодирующего устройства. Цифровое декодирующее устройство, выполненное по схеме рис. 50, размещается на одной плате с приемником.

Усилитель промежуточной частоты приемника с частотной модуляцией

Требования к селекции и избирательности усилителя промежуточной частоты приемников с амплитудной и частотной модуляциями в основном совпадают. В обоих случаях полное усиление усилителя приемника с частотной модуляцией определяется минимальным входным напряжением U_{Emin} и суммарным выпрямленным напряжением U_R детектора отношений, необходимого для раскачивания импульсного усилителя. Суммарное выпрямленное напряжение U_R также должно быть по возможности постоянным и независимым от входного напряжения U_E. В усилителе промежуточной частоты для приемника с частотной модуляцией этого достигают с помощью эффективного ограничения.

При частотной модуляции амплитуда несущей частоты постоянна. Если при передаче сигнала частотномодулированная несущая частота под влиянием помехи получает амплитудную модуляцию, то в усилителе промежуточной частоты она подавляется с помощью ограничения. Чем эффективнее ограничение даже при малых входных сигналах, тем лучше подавление амплитудной модуляции и, следовательно, устойчивость по отношению к сигналам помехи, вызывающим амплитудную модуляцию. Подавление этих сигналов позволяет повысить помехозащищенность аппаратуры с частотной модуляцией.

Отношение сигнал/помеха S_{FM} по низкой частоте при частотной модуляции рассчитывают по формуле:

$$S_{FM} = \frac{a_{st}}{a_n} = \frac{A_{st}}{A_n} \cdot \frac{\omega_{NFst}}{H}, \quad (70)$$

где a_{st} — напряжение помехи, a_n — напряжение полезного сигнала, A_{st} — амплитуда помехи, A_n — амплитуда полезного сигнала, ω_{NFst} — круговая частота напряжения помехи, H — девиация частоты.

Эта формула позволяет сделать следующий вывод: отношение сигнал/помеха при заданном отношении амплитуд помехи и полезного сигнала A_{st}/A_n по высокой частоте тем лучше (меньше), чем больше девиация (H) и чем ниже частота помехи или чем меньше

разница между частотой помехи ω_{NFst} и несущей частотой ω_{HFn}. Отсюда можно получить максимальное значение отношения сигнал/помеха S_{FMmax}, определяемого максимальной полосой пропускания, ограниченной величиной частоты помехи, и максимальной девиацией частоты. Если для узкополосной аппаратуры с частотной модуляцией принять уже рассмотренные выше значения: $H=5$ кГц и $B_{NF}=3{,}5$ кГц, то получают:

$$S_{FM_{max}} = \frac{A_{st}}{A_n} \cdot \frac{3{,}5\ \text{кГц}}{5\ \text{кГц}}$$

$$\frac{A_{st}}{A_n} \cdot 0{,}7.$$

При этих условиях отношение сигнал/помеха можно улучшить лишь на коэффициент 0,7. Отсюда следует: чтобы использовать преимущества частотной модуляции в отношении помехозащищенности, необходимо:

еще более сужать полосу пропускания по низкой частоте (то есть передавать более медленный, но обладающий большей информативностью сигнал);

обеспечивать девиацию частоты не менее $H=5$ кГц.

Испытанная в 1975 г. аппаратура с частотной модуляцией, девиация частоты в которой составляла 1—2 кГц, в качестве меры по повышению помехозащищенности имела лишь ограничение для подавления амплитудной модуляции.

Как показывают расчеты, основным преимуществом частотной модуляции по сравнению с амплитудной является низкочастотное подавление высокочастотных помех. Подавление сигналов помех тем лучше, чем выше частота девиации частоты по сравнению с частотой полезного сигнала. Следовательно, в полосе частот 27,12 МГц вряд ли можно реализовать преимущества частотной модуляции, а в полосе частот 433 МГц (50 кГц на канал) можно получить максимальное значение отношения сигнал/помеха при использовании более высокой девиации частоты (при узкополосной частотномодулированной передаче девиация составляет от 2 до 10 кГц).

Если отношение сигнал/шум на входе приемника составляет 5 : 1, то после демодуляции с индексом модуляции

$$m_F = \frac{H}{B_{NF}} = \frac{17{,}5\ \text{кГц}}{3{,}5\ \text{кГц}}$$

подавление амплитуды сигнала помехи достигает отношения 25 : 1. Такому значению соответствует только подавление помехи, равное 14 дБ, с помощью частотномодулированной передачи. Высокое подавление достигается полосой пропускания, увеличенной в пять раз по сравнению с полосой пропускания при амплитудной модуляции, при которой отношение сигнал/помеха определяется формулой:

$$S_{AM} = \frac{a_{st}}{a_n} = \frac{A_{st}}{m_A \cdot A_n}, \qquad (71)$$

где m_A — коэффициент модуляции.

Следовательно, при амплитудной модуляции воздействие напряжения помехи тем меньше, чем больше коэффициент модуляции. Но в аппаратуре дистанционного управления этот коэффициент и без того равен 100%. Уравнение (71) показывает, что расширение полосы пропускания по высокой частоте при амплитудной модуляции не улучшает отношение сигнал/помеха. Практически расширение сказалось бы даже отрицательно, так как в более широкую полосу пропускания попадает большее количество источников помех. Таким образом, стремление к разработке экстремально узкополосной аппаратуры с амплитудной модуляцией опирается не только на требование максимального использования полосы частот 27,12 МГц, но и на требование повышения помехозащищенности приемника. Отсюда ясно, почему именно частотная модуляция дает преимущество в отношении помехозащищенности.

Первым отличием усилителя промежуточной частоты приемника с частотной модуляцией от такого же усилителя приемника с амплитудной модуляцией является отсутствие регулирования. Второе отличие заключается в ширине полосы пропускания. В радиоприемниках с частотной модуляцией усилитель промежуточной частоты из-за большой девиации частоты имеет полосу пропускания $B_{ZF} = 150$ кГц. При узкополосной частотномодулированной передаче такая полоса пропускания не требуется, кроме того, разбивка полосы частот 27,12 МГц на каналы (табл. 2) допускает максимальную полосу пропускания $B_{ZF} = 15$ кГц, в будущем — 8 кГц. Это надо учитывать.

За усилителем промежуточной частоты, как и при использовании амплитудной модуляции, снова стоит демодулятор. Но в этом случае (при использовании частотной модуляции) было разработано множество вариантов схем демодулятора. Общим для них является то, что сначала они производят преобразование частотномодулированной промежуточной частоты в амплитудномодулированную, которая затем демодулируется. Это преобразование осуществляется с помощью колебательных контуров; амплитуда переменного напряжения, появляющегося на их выходе, зависит от частоты. Определяющим качество демодулятора частотномодулированной промежуточной частоты является линейность зависимости между амплитудой, фазой и частотой. Только при линейной зависимости амплитуды от частоты низкая частота имеет малый коэффициент нелинейных искажений.

Решение проблем, связанных с узкополосной частотномодулированной передачей, можно пояснить на примере супергетеродинного приемника, собранного на дискретных элементах и предназначенного для вызывного диспетчерского устройства. Приемник, схема которого представлена на рис. 166, рассчитан на рабочую частоту 40,68 МГц. Благодаря

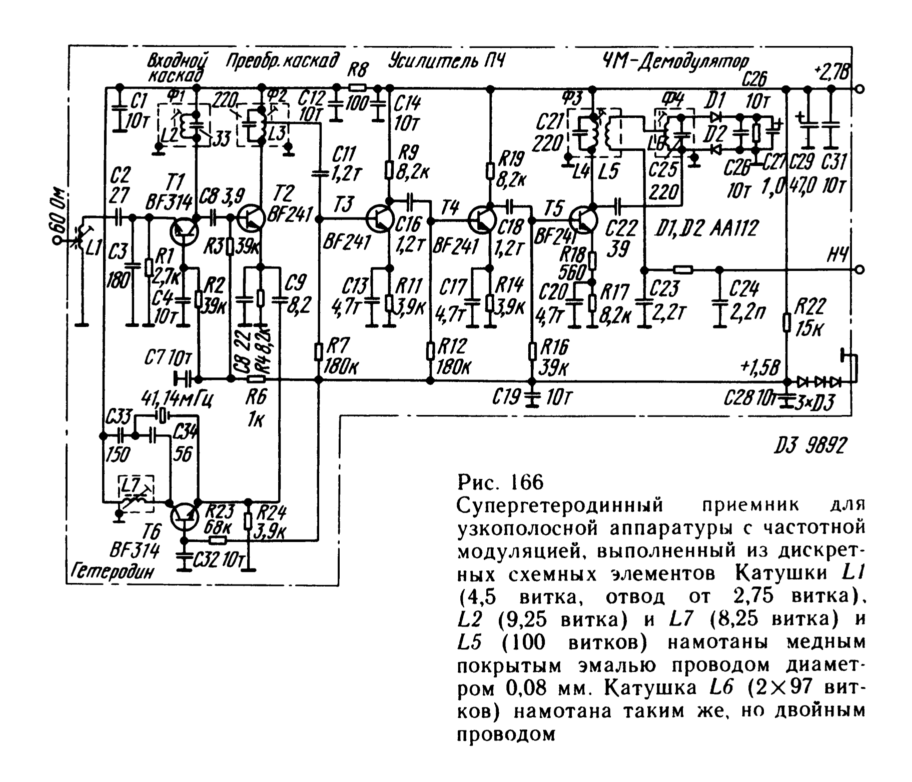


Рис. 166
Супергетеродинный приемник для узкополосной аппаратуры с частотной модуляцией, выполненный из дискретных схемных элементов Катушки *L1* (4,5 витка, отвод от 2,75 витка), *L2* (9,25 витка) и *L7* (8,25 витка) и *L5* (100 витков) намотаны медным покрытым эмалью проводом диаметром 0,08 мм. Катушка *L6* (2×97 витков) намотана таким же, но двойным проводом

исполнению из обычных схемных элементов он удобен для проведения экспериментов по дистанционному управлению моделями.

Изменив номиналы элементов колебательных контуров *F1* и *L7, C33, C34,* приемник перестраивают на частоту 27,12 МГц. Девиация частоты составляет *H* = 5 кГц, промежуточная частота 460 кГц и полоса пропускания по низкой частоте 3 кГц. Этот приемник можно использовать в полосе частот 27,12 МГц при интервале между каналами 20 кГц.

Входной контур, собранный на включенном по схеме с общей базой транзисторе *T1,* улучшает отношение сигнал/помеха и усиливает высокочастотный сигнал. Гетеродин выполнен по схеме Колпитца на транзисторе *T6* и стабилизирован кварцем. Промежуточная частота 460 кГц образуется в преобразовательном каскаде, собранном на транзисторе *T2,* и селектируется фильтром *F2.*

Усилитель промежуточной частоты представляет собой трехкаскадный усилитель на резисторах. Отстройка от смежного канала производится радиодетектором, включающим в себя фильтры *F3* и *F4.* Напряжение смещения баз для транзисторов всех каскадов приемника стабилизировано тремя диодами *D3.* Благодаря

этому в широком диапазоне напряжения питания (от 2 до 5 В) обеспечены хорошие характеристики усиления.

Основной частью радиодетектора является двухконтурный полосовой фильтр (*F3* и *F4*). Катушки *L4* и *L5* образуют трансформатор, первичное и вторичное напряжения которого сдвинуты по фазе на 180° относительно друг друга. Средний отвод от катушки *L6* обеспечивает наличие опорной точки для вторичного напряжения, разделенного на две одинаковые составляющие. Если колебательный контур *L6, C25* при изменениях частоты выходит из резонанса, суммарная амплитуда обеих составляющих напряжения остается той же, но изменяет свою фазу относительно фазы первичного напряжения.

При частотной модуляции информация заключена в изменениях частоты, а здесь образуется взаимосвязь между информацией и фазой напряжения. Первичное напряжение через конденсатор связи *C22* складывается с учетом фазы с обеими составляющими напряжения, выделенными на катушке *L6,* и образует суммарное напряжение, амплитуда которого является функцией фазового угла. Демодуляция производится диодами *D1* и *D2*. В случае резонанса фильтра *F4* составляющие напряжения равны, поэтому ток через диоды и напряжение низкой частоты U_{NF} равны нулю. При выходе этого фильтра из резонанса на выходе демодулятора появляется напряжение U_{NF}.

Конденсаторы *C26* и *C27* предназначены для подавления возможного остатка амплитудной модуляции, т. е. для усиления ограничительных функций усилителя промежуточной частоты. При изменениях частоты сумма амплитуд обеих составляющих вторичного напряжения остается постоянной. Поэтому напряжение на конденсаторах *C26* и *C27* также постоянно. Это напряжение изменяется только при изменении амплитуды переменного напряжения, что приводит к разряду этих конденсаторов. Энергия разряда отбирается у колебательного контура *L6, C25,* что приводит к его демпфированию, которое наступает при увеличении амплитуды вторичного напряжения и, следовательно, противодействует ему. При уменьшении амплитуды происходит обратный процесс, за счет чего осуществляется необходимое подавление амплитудной модуляции.

С помощью такого приемника можно получить довольно хорошие результаты. Приемник, собранный по схеме рис. 166, имел следующие характеристики:

габариты — 18×15×64 мм;
чувствительность — 2 мкВ при 60 Ом и отношении сигнал/шум 20 дБ;
ограничение — с 1 мкВ;
выходное напряжение низкой частоты — 200 мВ при 20 кОм и девиации частоты *H* = 5 кГц;
полосу пропускания по низкой частоте — от 0,1 до 3 кГц;

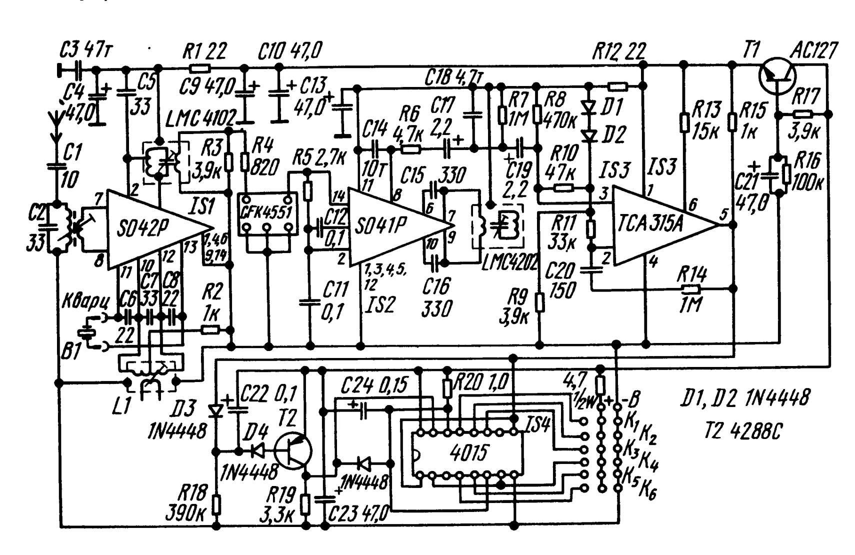
полосу пропускания по высокой частоте — 11,5 кГц;

промежуточную частоту — 460 кГц.

С помощью современных интегральных схем, предназначенных для сборки высокочастотного блока, импульсного усилителя и декодирующего устройства приемника при малом количестве схемных элементов можно построить даже узкополосный приемник с частотной модуляцией, предназначенный для дистанционного управления моделями.

В приемнике, показанном на рис. 167, в преобразовательном каскаде использован выполненный в виде интегральной схемы кольцевой смеситель *SO 42 P*, работающий вместе с гетеродином, стабилизированным кварцем. Входные сигналы подавляются на выходе. Керамический фильтр типа *CFK 455 H* производит селекцию промежуточной частоты. Выход преобразовательного каскада с помощью обычного *LC*-фильтра *F1* согласован с керамическим фильтром *F2*. Благодаря такой трансформации нагрузки приемник обладает большой чувствительностью (около 2 мкВ), а его шумы так малы, что при выходе из строя передатчика исполнительные механизмы не реагируют на это. Керамический фильтр обеспечивает очень высокую избирательность по соседнему каналу, составляющую около 80 дБ. Благодаря этому получена очень высокая избирательность по промежуточной частоте, а полоса пропускания приемника по высокой частоте составляет менее 8 кГц. Смеситель *SO 42 P* обеспечивает хо-

Рис. 167
Супергетеродинный приемник с частотной модуляцией, собранный с использованием интегральных схем и предназначенный для дистанционного управления моделями



рошую защиту от перекрестной модуляции, поэтому за пределами полосы пропускания напряжения остаются незначительными. Это позволило ограничиться на входе одним фильтром.

Для усиления промежуточной частоты и демодуляции использована интегральная схема типа *SO 41 P* с подключенным за нею дискриминатором. Эта схема содержит симметричный шестикаскадный усилитель с симметричным детектором совпадений и предназначена для усиления, ограничения и демодуляции частотномодулированных сигналов. Кроме своей простоты, она имеет и другие очень благоприятные для дистанционного управления моделями характеристики, такие как сохранение с помощью керамического фильтра требуемой полосы пропускания, равной 8 кГц, малый потребляемый ток и нечувствительность к колебаниям напряжения питания. Поэтому стабилизации напряжения питания для всего приемника не предусмотрено. Эта схема была опубликована фирмой *Siemens* еще в 1972 г. в качестве УКВ-радиоприемника.

Для импульсного усиления применен операционный усилитель типа *TCA 315*, который работает как блок сравнения, оказывающий пусковое воздействие с помощью обратной связи через резистор *R14* и конденсатор *C20*. Тактовые импульсы для управления регистром сдвига, выполненным на интегральной схеме типа *4015*, снимаются непосредственно с выхода операционного усилителя. Импульс возврата регистра сдвига формируется транзистором *T2* посредством интегрирования на конденсаторе *C22* тактового импульса.

Приемник работает очень надежно даже при уменьшении напряжения питания, поэтому стабилизация напряжения питания не предусмотрена. Транзистор *T1* предназначен лишь для выравнивания кратковременных колебаний нагрузки.

Преимущества частотной модуляции, даже при узкополосной передаче, проявляются только при наличии полосы пропускания по высокой частоте, по крайней мере, 15 кГц. Это условие выполнимо только в полосе частот 433 МГц, поэтому с целью повышения помехозащищенности, а также из-за перенасыщенности полосы частот 27,12 МГц следует разработать высококачественный приемник для работы в полосе частот 433 МГц. Такие разработки с целью создания аппаратуры для дистанционного управления моделями пока находятся в самом начале.

Моделистам для собственных разработок остается только испытанный путь — использование оправдавших себя схем радиотелефонных устройств (в полосе частот 468 МГц) или аппаратуры любительской радиосвязи (в полосе частот от 430 до 440 МГц). Полоса частот 433 МГц разбита на 34 канала с интервалами между ними 50 кГц. Таким образом, эта полоса обеспечивает идеальные условия для ра-

боты аппаратуры с частотной модуляцией. Как и в полосе 27,12 МГц, здесь также имеется 11 основных каналов.

Даже если для обеспечения хорошего качества передачи полосу пропускания по низкой частоте и девиацию частоты принять равными 5 кГц (полоса пропускания по высокой частоте составит тогда примерно 20 кГц), то на интервал надежности еще остается 30 кГц. При использовании только одиннадцати основных каналов этот интервал повышается до 130 кГц.

Возможность создания в УВЧ-диапазоне малогабаритных приемников можно доказать на двух примерах, в которых использованы различные концепции построения схем.

Приемник, схема которого показана на рис. 168, имеет габариты 17×19×95 мм и рассчитан для работы в полосе частот 468 МГц в качестве диспетчерского вызывного устройства. Для получения малых габаритов принимаемая частота преобразуется в низкую промежуточную частоту (100 кГц), которая усиливается без селекции с помощью усилителя на резисторах. Из-за малой величины промежуточной частоты для повышения помехозащищенности по зеркальной частоте на входе установлен двухконтурный фильтр *F2*. Входной каскад, собранный на транзисторе *T7*, усиливает сигнал примерно на 10 дБ и улучшает отношение сигнал/шум.

Стабилизированный кварцем гетеродин, собранный на транзисторе *T1*, генерирует колебания с частотой 93, 62 МГц (при работе в полосе час-

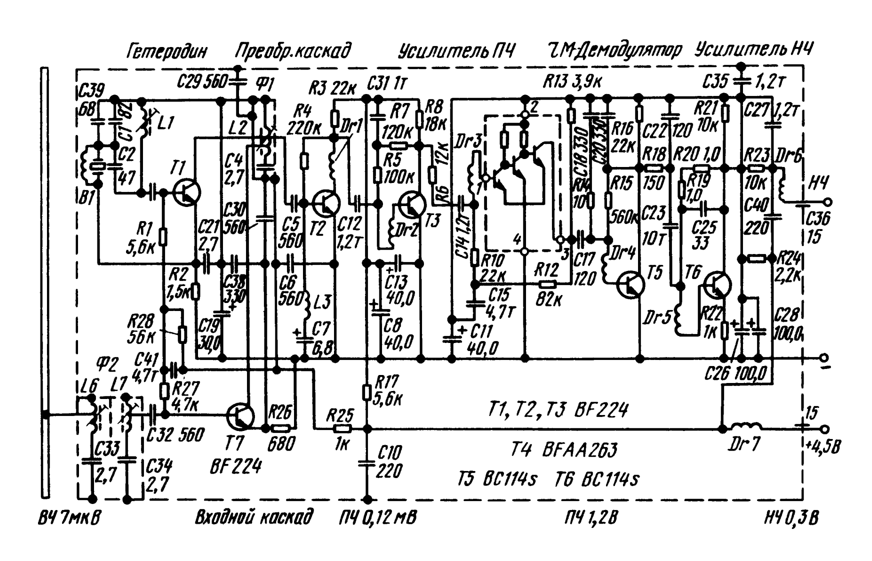


Рис. 168
Миниатюрный супергетеродинный приемник для работы в полосе частот 433 или 468 МГц. Промежуточная частота 100 кГц. Антенна — четвертьволновая, штыревая. Дроссели *Dr1-Dr6* намотаны на ферритовых бусинках

тот 433,9 МГц — с частотой 86,76 МГц), составляющей примерно пятую часть частоты принимаемого сигнала. Фильтр *F1* настроен на пятую гармонику частоты гетеродина. Принимаемая частота и пятая гармоника частоты гетеродина поступают на фильтр *F1,* включенный в качестве общей нагрузки коллекторов для транзисторов гетеродина и входного каскада.

Собственно преобразование производится на участке база-эмиттер транзистора *T2.* Катушка *L3* и конденсатор *C7* обеспечивают необходимое для преобразования короткое замыкание по промежуточной частоте. Промежуточная частота усиливается в двухкаскадном, выполненном на транзисторах *T3* и *T4* усилителе на резисторах.

В определенной мере этот усилитель производит и селекцию сигнала. Демодулятор работает по принципу счетного дискриминатора. Из-за отсутствия селектирующего звена и малой величины промежуточной частоты приемник имеет низкую помехозащищенность по зеркальной частоте, т. е. этот приемник может принимать сигналы двух передатчиков, частоты которых разнесены на 200 кГц. Несмотря на это, приемник может оказаться очень полезным для проведения экспериментов в полосе частот 433 МГц.

Значительно лучшими характеристиками обладает приемник, схема которого представлена на рис. 169. Он является составной частью вызывного диспетчерского устройства (частоты на схеме указаны применительно к аппаратуре дистанционного управления) и отличается хорошей избирательностью по зеркальной частоте и по соседнему каналу. Помехозащищенность по зеркальной частоте достигнута прежде всего благодаря применению двойного преобразования частоты с высокой первой (20 МГц) и низкой второй (455 кГц) промежуточными частотами.

Колебательный контур *L1, C1* осуществляет согласование антенны с входным каскадом, собранным на транзисторе *T1.* На выходе входного каскада установлен трехконтурный фильтр, чем обеспечивается хорошая избирательность по высокой частоте. Первое преобразование для получения первой промежуточной частоты производится на базе транзистора *T2.* Гетеродин, выполненный на транзисторе *T5,* стабилизирован кварцем. С помощью этого гетеродина получают две частоты для преобразования.

Восьмая высшая гармоника частоты гетеродина отфильтровывается колебательным контуром *L9, C21* и через конденсатор *C20* подается на первый преобразовательный каскад (на базу транзистора *T2*). Для преобразования первой промежуточной частоты используют третью высшую гармонику этого отфильтрованного колебания, т. е. 24-ю высшую гармонику частоты гетеродина. Первая промежуточная частота, равная примерно

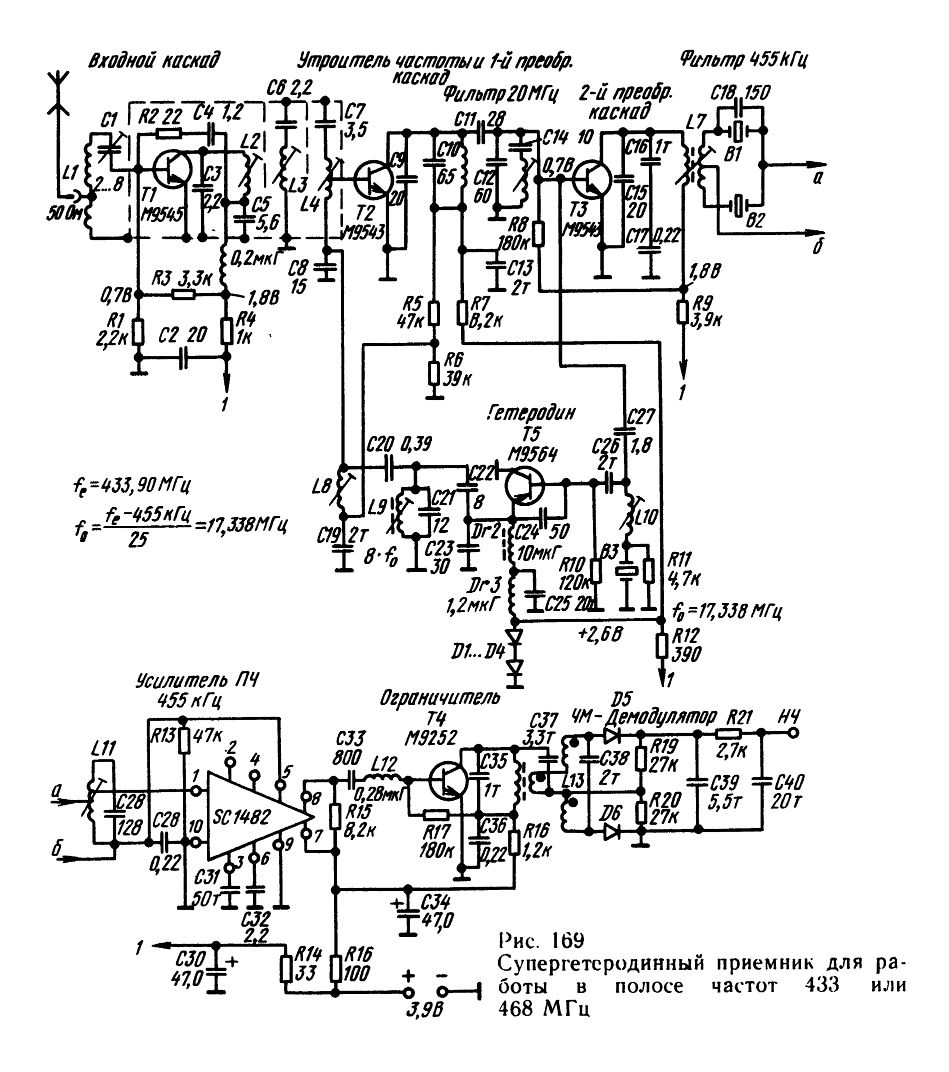


Рис. 169
Супергетеродинный приемник для работы в полосе частот 433 или 468 МГц

20 МГц, обеспечивает хорошую помехозащищенность по зеркальной частоте.

С помощью двухконтурного фильтра, имеющего емкостную связь, первая промежуточная частота отфильтровывается и подается во второй преобразовательный каскад, собранный на транзисторе *T3*. Для преобразования до второй промежуточной частоты, равной 455 кГц, используется основная частота гетеродина. Вместе с первой промежуточной частотой через конденсатор *C27* она подается на базу транзистора *T3*. Керамический фильтр, установленный в выходном контуре второго преобразовательного каскада, обеспечивает высокую избирательность. Концентрированная селекция на входе и большое

усиление, получаемое с помощью интегральной схемы типа *SC 1482*, характеризуют усилитель промежуточной частоты 455 кГц. Усиленный сигнал промежуточной частоты проходит через ограничитель, собранный на транзисторе *T4*, и демодулируется на обычном детекторе. Эта схема благодаря простоте решения и хорошим характеристикам особенно пригодна для экспериментирования. При работе с нею были получены следующие характеристики:

девиация частоты — 5 кГц;

избирательность—50 дБ при ±25 кГц;

избирательность по зеркальной частоте — 40 дБ;

чувствительность — 0,5 мкВ при отношении сигнал/шум 20 дБ.

Использование достижений, полученных в области УКВ-радиосвязи и УВЧ-радиоприема, будет способствовать дальнейшему развитию супергетеродинных приемников с частотной модуляцией, предназначенных для дистанционного управления.

4.2.2.5. Усилители низкой частоты

Усилители низкой частоты для приемников аппаратуры дистанционного управления можно разбить на две группы: для аппаратуры с частотным и для аппаратуры с цифровым кодированием. Схемы усилителей низкой частоты, предназначенные для низкочастотного кодирования, показаны вместе со схемами приемников. Упрощения схем достигают с помощью использования интегральных схем (см. рис. 150). Специальные ограничители в этих усилителях обычно не используют, так как каскад декодирования низкой частоты может быть выполнен так, что перекрестные помехи не возникнут даже в непосредственной близости от передатчика.

Другие требования предъявляются к усилителям низкой частоты для цифровой аппаратуры, которые формируют последовательности импульсов для каскадов декодирования и поэтому рассмотрены в разделе 3 вместе со схемами декодирующих устройств. Усилители низкой частоты для цифровой аппаратуры в большинстве случаев выполняют двух- или трехкаскадными в виде нерегулируемых импульсных усилителей на резисторах с непосредственной связью.

В первом каскаде усиления низкой частоты между коллектором и массой обычно устанавливают конденсатор, предназначенный для отвода коротких импульсов помехи. Некоторое сглаживание им фронта канальных импульсов не сказывается отрицательно, так как следующие каскады намного усиливают и формируют эти импульсы. Использование интегральных схем для формирования импульсов (см. рис. 40) не вносит изменений в работу приемника, но значительно упрощает его схему.

4.3. Индуктивное дистанционное управление

Для передачи низкочастотных сигналов на короткие расстояния (например, для управления воротами гаража или двора) можно также использовать магнитное поле катушки. Так как индуктивное управление обеспечивает дальность действия 5—10 м, оно пригодно и для манипулирования моделями в помещении.

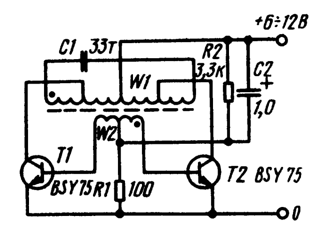


Рис. 170
Одноканальный передатчик для индуктивного дистанционного управления. Катушка имеет внутренний диаметр 10 мм, длину 9 мм. В качестве сердечника использован ферритовый стержень диаметром 9,6 мм и длиной 50 мм. Обмотка *W1* имеет 150+50+ +50+150, а обмотка *W2* — 10+10 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,2 мм

4.3.1. Передатчик для индуктивного дистанционного управления

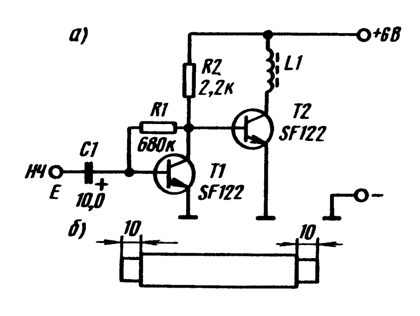
Простейшую схему передатчика для индуктивного дистанционного управления получают при одном канале управления, так как тогда генератор низкой частоты может быть использован и в качестве индуктивного датчика (рис. 170).

Передатчик представляет собой двухтактный генератор синусоидальных колебаний. Колебательный контур, определяющий частоту колебаний, вместе с конденсатором *C1* образует первичную обмотку. Частота генератора составляет примерно 9 кГц, ее можно изменить путем изменения емкости конденсатора *C1*. Для точной подстройки низкой частоты катушки смещают на ферритовом стержне. Это позволяет плавно изменять индуктивность.

Чтобы транзисторы *T1* и *T2* минимально демпфировали колебательный контур, их коллекторы подключены к отводам первичной катушки. Сердечником катушки является ферритовый стержень, вокруг которого при работе генератора образуется сильное магнитное поле. Конденсатор *C2* установлен для облегчения возникновения колебаний. Передатчик может работать при напряжении питания от 6 до 12 В. Потребляемый ток составляет от 15 до 40 мА.

При использовании передатчика для дистанционного управления моделями необходимо учитывать поляризацию магнитного поля. Зависимость от направления ферритового стержня исключается при его вертикальном положении.

Для одновременной передачи по нескольким каналам оконечный каскад передатчика необходимо отделить от кодирующего устройства. Тогда оконечный каскад работает как усилитель с непосредственной связью, подобно модуляционному усилителю (рис. 171). Для управления работой



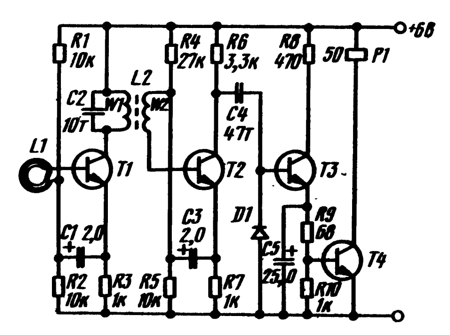


Рис. 171
Оконечный каскад передатчика для индуктивного дистанционного управления: *а* — принципиальная схема; *б* — чертеж катушки *L1*. Катушка имеет 100 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,2 мм, уложенных в три слоя. Изоляция выполнена из бумаги

Рис. 172
Приемник для индуктивного дистанционного управления. Катушка *L2* — в броневом сердечнике диаметром 18 и высотой 14 мм. Обмотка *W1* имеет 420, а *W2* — 150 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,15 мм

этого каскада можно использовать все каскады, рассмотренные в разделе 3.

4.3.2. Приемник для индуктивного дистанционного управления

Основными элементами приемника для индуктивного дистанционного управления являются датчик (катушка) и высокочувствительный усилитель низкой частоты. Приемник, показанный на рис. 172, разработан специально для работы с передатчиком, представленным на рис. 170. В качестве датчика может быть использована катушка на ферритовом стержне. Если к усилителю низкой частоты подключить один из декодирующих каскадов, схемы которых рассмотрены в разделе 3, то можно собрать многоканальную аппаратуру.

Для аппаратуры индуктивного управления вряд ли целесообразно добиваться большой чувствительности приемника из-за наличия посторонних полей и фона переменного тока, так как она не имеет эффективных средств селекции. Поэтому наиболее пригодными для нее являются каскады переключения аппаратуры дискретного дистанционного управления с низкочастотным кодированием.

Если приемник предназначен для управления на расстоянии воротами гаража, то датчик должен представлять собой три витка провода (диаметр витка 1 м), уложенные в грунт перед воротами. Для этого используют трехжильный кабель, жилы которого имеют рядную укладку. Первый каскад усиления работает в качестве селективного усилителя. Колебательный контур *L2, C2* настраивают на частоту 9 кГц. Соот-

ветствующим изменением номиналов схемных элементов можно получить другую резонансную частоту.

Если полосу пропускания необходимо расширить для обеспечения многоканальности, то колебательный контур дополнительно демпфируют, подключив параллельно катушке резистор. Усиленное напряжение низкой частоты можно снять с конденсатора *C4*. При низкой частоте порядка 1,5—3 кГц емкость конденсатора увеличивают до 5 мкФ, так как тогда можно производить подключение каскадов переключения.

Каскад усиления, собранный на транзисторах *T3* и *T4*, работает как усилитель постоянного тока. Напряжение низкой частоты выпрямляется диодом *D1*. Остаток низкой частоты с помощью конденсатора *C5* замыкается на массу, а отфильтрованное постоянное напряжение управляет работой релейного каскада, собранного на транзисторе *T4*.

4.4. Световое дистанционное управление

Управление моделями на расстоянии с помощью света пока еще является мало освоенной областью. В любительских условиях трудно создать аппаратуру, позволяющую осуществлять модуляцию света. Для передачи сигналов с достаточно высоким КПД необходимо образовывать световые пучки, пользуясь оптическими средствами.

Распространение света сильно зависит от направления луча. Но модель должна свободно передвигаться во всех направлениях, поэтому светоприемник должен иметь сферическую характеристику направленности. Фокусировка света в приемнике может быть осуществлена лишь условно, что равнозначно уменьшению дальности действия. Это можно рассматривать как основной недостаток светового управления. С помощью приемлемой по сложности схемы можно получить дальность действия до 50 м.

Другая проблема заключается в исключении влияния источников помех, которыми могут быть все источники света, имеющие переменную яркость, например, лампы накаливания и люминесцентные. Помехи могут также создавать насекомые, попадая в лучи солнечного света, вибрирующие рефлекторные пятна на стеклах автомобилей и т. д. Обычно помехи имеют частоту 100 Гц (лампы) и ниже. Следовательно, частоту модуляции следует выбирать, по возможности, выше 100 Гц, но возникают трудности при создании передатчика, рассчитанного на такие частоты. Поэтому остается лишь снизить чувствительность приемника и соответственно сузить полосу пропускания.

Эксперименты в области светового управления моделями проводились пока лишь некоторыми моделистами, поэтому публикации о них очень малочисленны. Здесь дано описа-

ние аппаратуры светового дистанционного управления моделями, разработанной Г. Мюллером-Фогтом.

4.4.1. Передатчик световых сигналов

Выбор излучателя для передатчика представляет большие трудности. Спектральный состав света должен, по возможности, соответствовать спект-

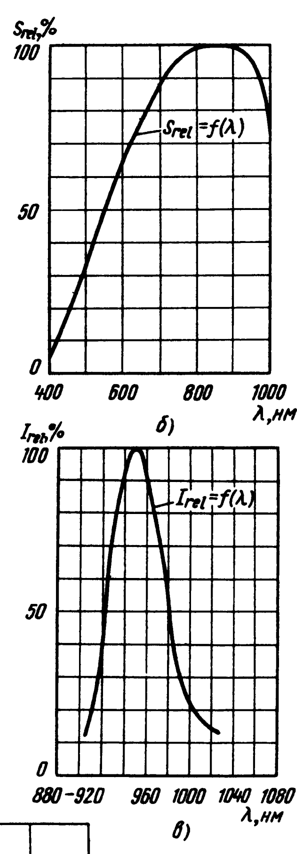
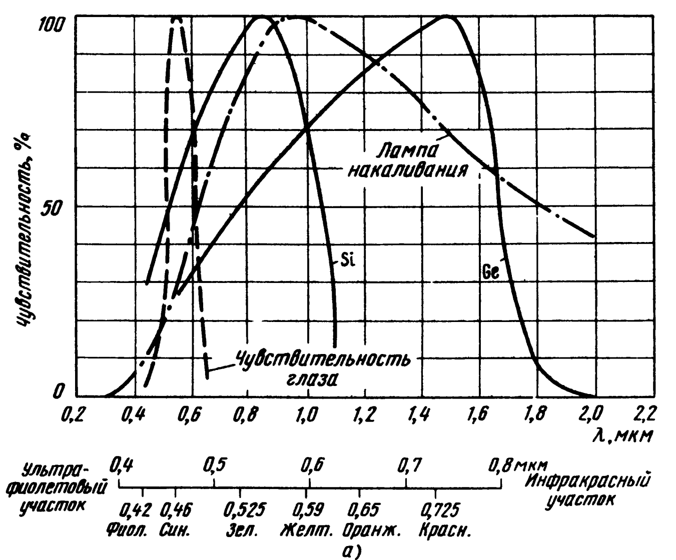


Рис. 173
Спектральные характеристики передатчика и приемника световых сигналов (из справочника *Siemens-Datenbuch 1973/74*): *а* — относительная спектральная чувствительность датчиков по сравнению со спектральной эмиссией лампы накаливания (2850 К); *б* — относительная спектральная чувствительность кремниевого фотоэлемента типа *TP 60*, *в* — относительная спектральная эмиссия полупроводникового электролюминесцентного диода на арсениде галлия типа *CQY 17*



ральной чувствительности приемника (рис. 173), а излучаемый свет — легко модулироваться. При имеющихся в настоящее время схемных элементах эти требования могут быть выполнены только частично.

В описываемом передатчике излучателями служат лампы накаливания. Максимум эмиссионного спектра ламп накаливания лежит в красной области с длиной волны около 1 мкм. Большим преимуществом ламп накаливания в качестве излучателей является их дешевизна, недостатком — трудность модуляции излучаемого света. Коэффициент модуляции, составляющий при частоте 100 Гц около 30%, еще более падает при увеличении частоты. По аналогии с управлением посредством электромагнитных волн для получения большей дальности действия следует стремиться к 100%-ной модуляции. В описываемом передатчике такая модуляция получена за счет применения диска с отверстиями, который производит прямую модуляцию тока лампы.

Многообещающими являются эксперименты со светоизлучающими диодами. Эти диоды позволяют просто и с высокой частотой производить 100%-ную модуляцию излучения посредством подачи на них запирающего тока, так как время их переключения составляет около t_r, $t_f = 1$ мкс. Благодаря этому здесь могут быть использованы методы кодирования, рассмотренные в разделе 3. Недостатком светоизлучающих диодов является их низкий КПД и пока еще небольшая мощность излучения, составляющая около $P_и = 10$ мВ.

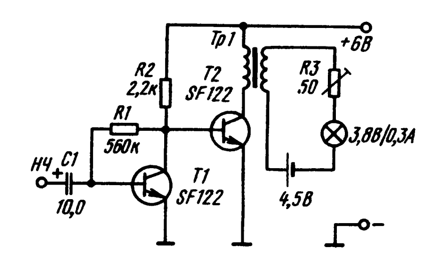


Рис. 174
Передатчик световых сигналов для непосредственной модуляции тока лампы. Трансформатор *Тр*, в броневом сердечнике, имеет 600/300 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,2 мм. Лампа 3,8 В, 0,3 А

Описываемый передатчик (рис. 174) предназначен для передачи дискретных команд максимум по четырем каналам. Поэтому можно было использовать малогабаритные лампы накаливания со впаянными фокусирующими линзами. Небольшие лампы накаливания, несмотря на малый КПД, равный примерно 2%, имеют, однако, значительно бóльшую световую мощность, чем светоизлучающие диоды. Лампы с фокусирующими линзами для карманных фонарей хорошо фокусируют световой поток, поэтому необходимость в дополнительной оптике отпадает и передатчик может быть выполнен малогабаритным.

Были выбраны лампы, линзы которых имеют небольшой диаметр (6 мм). На лампы, рассчитанные на напряжение

3,8 В при токе 0,3 А, подавали повышенное напряжение, равное 4,5 В, благодаря чему была повышена их светоотдача. Правда, перегрузка привела к снижению срока службы ламп. При низких частотах (до 400 Гц) ток лампы можно модулировать непосредственно частотой сигнала (рис. 174) с помощью резистора *R1* в цепях баз транзисторов *T1* и *T2* и переменного резистора *R3*. Рабочую точку лампы с помощью резистора *T3* устанавливают так, чтобы тепловая инерция нити накаливания не оказывала влияния на передачу сигналов при максимальной частоте модуляции.

В передатчике Г. Мюллера-Фогта световой луч модулируется вращающим диском с отверстиями (рис. 175). Частота модуляции задается частотой вращения двигателя и количеством отверстий в диске. Таким образом, стабильность частоты, необходимая для работы переключающего каскада, прямо зависит от постоянства частоты вращения двигателя. Поэтому необходимо выбирать электродвигатели с электронным управлением, например, устанавливаемые в батарейных проигрывателях и кассетных магнитофонах. Частоты модуляции 600 800, 1000 и 1200 Гц, которые Г. Мюллер-Фогт считает наиболее подходящими, получают при частоте вращения 3000 об/мин диска с 12, 16, 20 и 24 отверстиями (рис. 176). Если для кодирования в передатчике используются уже применяющиеся (см. табл. 6) фиксированные низкие частоты, то диск с отверстиями должен иметь следующие характеристики:

Частота, Гц	Количество отверстий	Диаметр окружности, на которой расположены отверстия, мм
850	17	50
1100	22	70
1700	34	100
2400	48	150

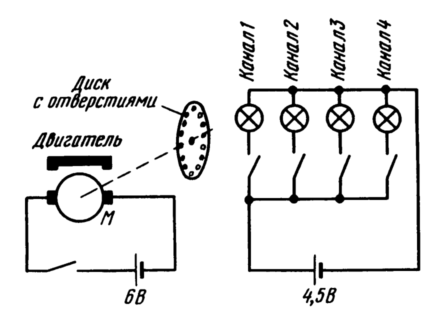


Рис. 175
Передатчик световых сигналов для модуляции с помощью диска с отверстиями

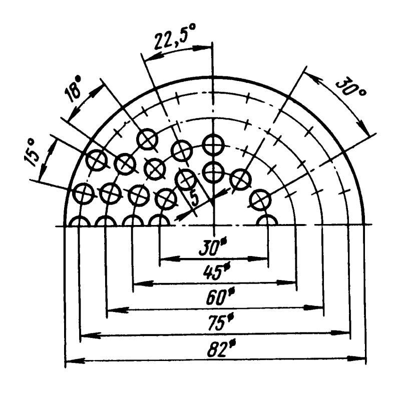


Рис 176
Чертеж диска с отверстиями

Диск делают из прессшпана или другого материала толщиной 0,5 мм, покрывают матовой черной краской и сажают на вал двигателя. Лампы лучше всего закрепить на *S*-образной пластине, что позволяет юстировать их самым простым способом. Каждая лампа должна быть максимально приближена к диску, а ее ось должна совпадать с диаметром, на котором расположены соответствующие отверстия.

4.4.2. Приемник световых сигналов

Важным элементом приемника световых сигналов является фотоэлектрический преобразователь, который должен воспринимать световую энергию (свет постоянной или переменной яркости) и преобразовывать ее в электрическую. Фотоэлектрический преобразователь выполняет на входе приемника функции антенны в радиоаппаратуре и поэтому оказывает такое же влияние на дальность действия аппаратуры дистанционного управления. Чувствительность преобразователя зависит от физического принципа его работы, соответствия его спектральной характеристики такой же характеристике передатчика (см. рис. 173) и направления падения света.

Фотоэлектрическими преобразователями могут служить фотоэлементы, фоторезисторы, фотодиоды и фототранзисторы. Однако выбирать из них можно только те, которые при очень различных условиях постоянного освещения (от солнечного освещения до сумерек в комнате) должны обладать достаточно большой чувствительностью к переменной яркости. Это требование практически выполнимо лишь с помощью фотоэлементов или фоторезисторов, работающих в режиме короткого замыкания. Но для дистанционного управления фоторезисторы непригодны из-за их большой инерционности: время срабатывания фоторезисторов составляет несколько миллисекунд.

Фотоэлементы бывают трех типов: селеновые, германиевые и кремниевые. В описываемом ниже приемнике световых сигналов установлен кремниевый фотоэлемент типа *TP 61*.

При небольшой потере чувствительности можно также использовать селеновый элемент от простого экспонометра. Этот фотоэлемент должен иметь возможно бóльшую площадь для получения большей чувствительности. Так как селеновый фотоэлемент стареет при сильном длительном освещении и за счет этого теряет чувствительность, в нерабочем состоянии его следует закрывать защитной крышкой. Для согласования селенового фотоэлемента сопротивление дросселя *Dr1* должно составлять от 100 до 1000 Ом. Точное значение сопротивления зависит от типа фотоэлемента и может быть найдено экспериментально.

Для целей дистанционного светового управления селено-

вый фотоэлемент имеет наиболее благоприятные характеристики. Он не теряет свои свойства даже при очень ярком солнечном освещении и имеет хорошую температурную стабильность, а при частотах до 10 кГц обладает большой чувствительностью. Кроме того, он обеспечивает очень хорошее согласование по спектральной характеристике с передатчиком световых сигналов, описанным в разделе 4.4.1, так как она лежит преимущественно в области желтого и красного участков спектра.

Поскольку фотоэлементы имеют вид светочувствительных плоскостей, наибольшую чувствительность они имеют при отвесном падении на них света. Но при использовании на модели фотоэлемент должен обладать сферической характеристикой направленности, поэтому его оснащают дополнительным устройством, обычно призмой, позволяющим принимать свет с других направлений.

Коническая призма

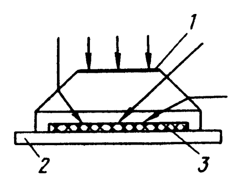
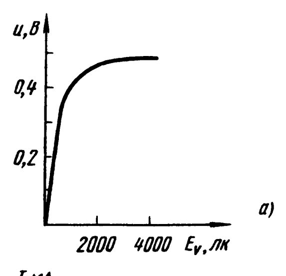


Рис. 177
Конструкция фотоэлемента. Призма имеет диаметр у основания 20 мм, диаметр у вершины 14 мм и высоту 7 мм: 1 — защитная крышка (алюминиевая фольга), 2 — основание, 3 — фотоэлемент

(рис. 177) из преломляющего свет материала изменяет направление падающего сбоку света так, что световые лучи направляются к фотоэлементу. Чтобы для вертикально падающего света получить такую же чувствительность, как и для падающего сбоку, лобовую поверхность призмы закрывают отражающим свет диском из алюминиевой фольги. Такую призму можно изготовить из прозрачной пластмассы (пиакрила, полистирола) или из бесцветной нетемнеющей литьевой смолы (эпоксидной, полиэфирной). Преимуществом такой конструкции является также надежная защита фотоэлемента от механических повреждений.

Согласование кремниевого фотоэлемента определяется его электрическими характеристиками. При освещении на выводах фотоэлемента появляется напряжение холостого хода U_L. При увеличении освещения оно экспоненциально возрастает до величины напряжения насыщения (рис. 178). Чтобы напряжение холостого хода уже при слабом дневном свете не достигало насыщения, когда он не может больше реагировать на свет переменной яркости, при применении кремниевого фотоэлемента для дистанционного управления целесообразно использование характеристик короткого замыкания. Между током короткого замыкания и освещенностью, вплоть до их максимальных значений, существует линейная зависимость. Это озна-



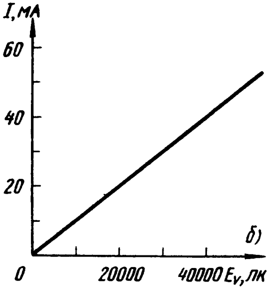


Рис. 178
Характеристики кремниевого фотоэлемента типа *TP 61*: *a* – изменение напряжения холостого хода; *б* – изменение тока короткого замыкания

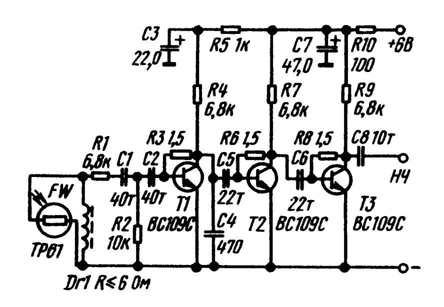


Рис. 179
Приемник световых сигналов с кремниевым фотоэлементом Дроссель *Dr1*, на ферритовом сердечнике, имеет 55 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,16 мм, индуктивность 55 мГ

чает, что даже при максимальном солнечном освещении дополнительное освещение, имеющее переменную яркость, вызывает переменный ток. Следовательно, фотоэлемент нужно устанавливать в цепь короткого замыкания и с помощью соответствующих фильтров разделять постоянный и переменный токи.

Усилитель, входящий в схему приемника (рис. 179), работает как усилитель переменного напряжения. Поэтому свет переменной яркости на сопротивлении нагрузки, дросселе *Dr1*, должен вызывать падение, пусть даже небольшое, напряжения, которое затем усиливается. Из-за конечного сопротивления катушки фотоэлемент испытывает лишь квазикороткое замыкание. Дроссель *Dr1*, имеющий сопротивление по постоянному току 6 Ом, создает для постоянной составляющей фототока квазикороткое замыкание. Переменной составляющей тока, вызванной падением света переменной яркости на фотоэлемент, дроссель оказывает значительно большее сопротивление. Следовательно, дроссель образует нагрузку для переменного тока и с его выводов можно снимать переменное напряжение.

Разделение постоянного и переменного напряжений производится конденсаторами *C1* и *C2*. Одновременно цепочка *C1*, *R2* и *C2* образует фильтр верхних частот, создающий эффективное подавление частот помехи, лежащих ниже 400 Гц. Емкости конден-

саторов связи *C5* и *C6* выбраны такими малыми, чтобы демпфировать более низкие частоты. Благодаря большому усилению каскадов их развязка осуществлена с помощью *RC*-цепочек *R5, C3* и *R10, C7*.

При раздельной установке усилителя и фотоэлемента последний следует подключать с помощью экранированного провода. При очень плотном монтаже для уменьшения межкаскадных связей необходимо экранировать также первый, а возможно, и второй каскады усиления. Усилитель низкой частоты можно значительно упростить, применив для его сборки интегральные схемы (такие как *TAA 111, MAA 225*).

В качестве декодирующего каскада световых сигналов был использован разработанный специально для этого приемника релейный каскад переключения, показанный на рис. 21.

4.5. Ультразвуковое дистанционное управление

Для повышения удобства управления телевизорами были разработаны устройства дистанционного управления, в которых передачу сигналов осуществляет ультразвук. Из-за малой дальности действия, составляющей примерно 10 м, ультразвуковую аппаратуру дистанционного управления моделями можно применять только для специальных задач управления. Например, она может быть использована для управления на расстоянии моделью подводной лодки, что невозможно с помощью других рассмотренных выше методов за исключением подачи световых сигналов.

Чтобы помочь моделистам при проведении собственных экспериментов в этой области, здесь рассмотрены такие промышленные устройства управления телевизорами, которые без большого труда могут быть доработаны для целей дистанционного управления моделями.

Ультразвуковые частоты для передачи сигналов лежат в диапазоне 34-45 кГц (табл. 10). Следовательно, канальные частоты расположены в области между первой и второй высшими гармониками частоты строчной развертки телевизора (15,625 кГц).

Таблица 10

Распределение фиксированных ультразвуковых частот по каналам в различных образцах устройств управления телевизорами на расстоянии, кГц

Канал	*Telefunken*	*Saba*	*VEB Fernsehgerätewerk Stassfurt*
1	35	34,25	35,5
2	36	35,75	38,9
3	37	37,25	40,6
4	38	38,75	44,0
5	39	40,25	45,7
6	40	41,75	
7	41	43,25	
8	42	44,75	

Это необходимо, так как мощный выходной каскад строчной развертки излучает сильные помехи, имеющие ультразвуковую частоту. Кодирование и декодирование команд фирмы-изготовителя таких устройств выполняют различными методами, которые для управления моделями на расстоянии имеют второстепенное значение и подробно здесь не рассмотрены.

Основное внимание в этом разделе уделено передаче ультразвуковых сигналов. Кодировать команды при такой передаче можно с помощью методов, изложенных в разделе 3.

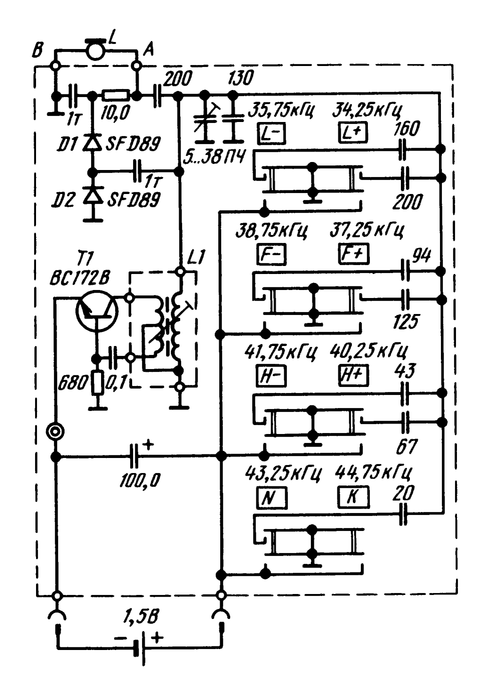
4.5.1. Передатчик ультразвуковых сигналов

Схема передатчика ультразвуковых сигналов (рис. 180) подобна схеме передатчика для индуктивного управления. Передатчик ультразвуковых сигналов также непосредственно излучает генерируемые им колебания. Частота сигнала является в то же время и несущей частотой.

Ультразвуковой генератор, собранный на транзисторе *T1*, работает как трехточечный генератор с индуктивной связью. Его частоту определяет последовательный колебательный контур, состоящий из вторичной обмотки катушки *L1* и подключаемых канальных конденсаторов. Поэтому одновременная передача по нескольким каналам невозможна.

Диоды *D1* и *D2* демпфируют колебательный контур и предотвращают возникновение паразитных колебаний. Конденсаторный громкоговоритель связан с колебательным контуром через конденсатор емкостью 200 пФ. Потребляемый передатчиком ток составляет несколько миллиампер и с одним цилиндрическим гальваническим элементом типа *R6* может работать в течение примерно одного года. Практически, длительность работы определяет срок хранения этого источника питания. За счет повышения выходной мощности передатчика возможно значительное увеличение дальности его действия

Рис. 180
Передатчик ультразвуковых сигналов (фирмы *Saba*)



4.5.2. Приемник ультразвуковых сигналов

На входе приемника ультразвуковых сигналов (рис. 181) установлен конденсаторный микрофон. Требуемое напряжение смещения для микрофона на модели, равное 240 В, можно получить с помощью одного транзистора, так как величина мощности при этом не играет роли. Усилитель ультразвуковой частоты соб-

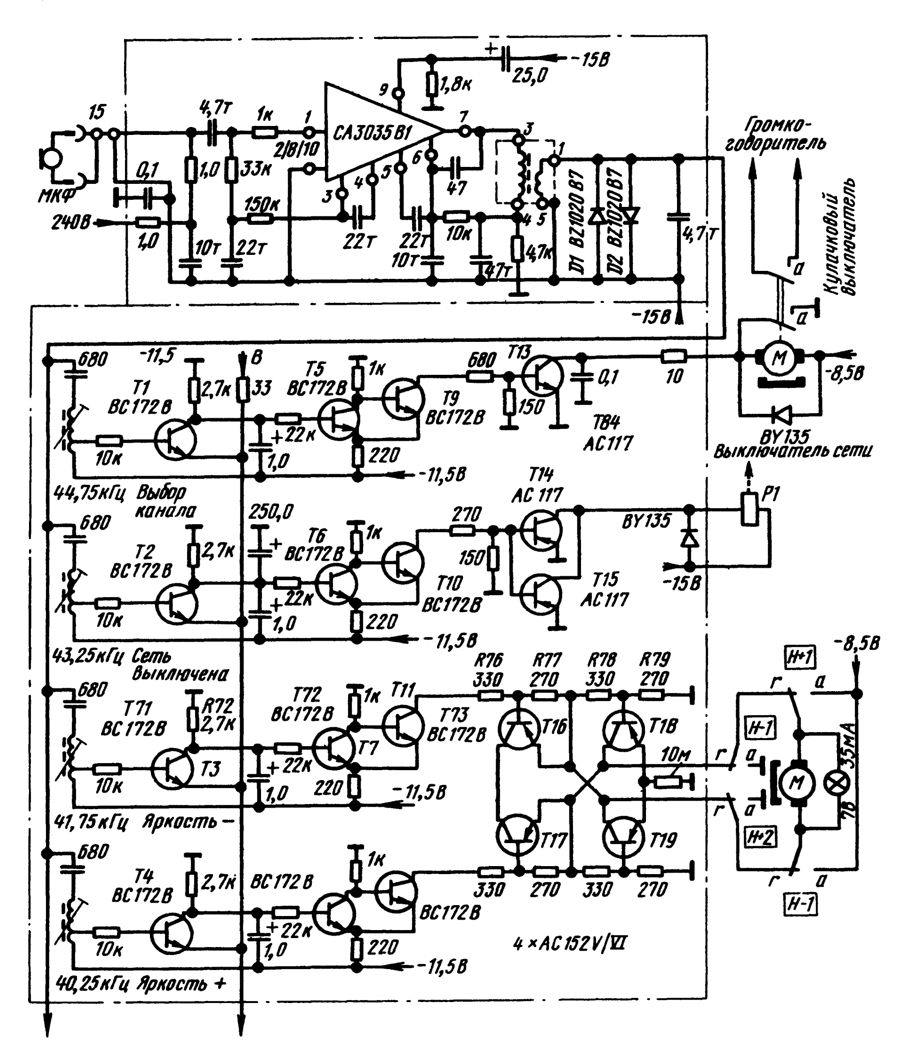


Рис. 181
Приемник ультразвуковых сигналов (фирмы *Saba*)

ран на интегральной схеме. Трансформатор, установленный на выходе усилителя, работает селективно и согласует усилитель с низкоомным декодирующим каскадом. Встречно-параллельно включенные диоды *D1* и *D2* ограничивают ультразвуковой сигнал и предотвращают перегрузку декодирующего каскада. Эту меру часто используют также в каскадах переключения с частотным кодированием для предотвращения перегрузки каналов вблизи передатчика.

Декодирующий каскад подобен установленному в приемнике устройства дистанционного управления *Telecont*. Селектирующие звенья представляют собой последовательные колебательные контуры, требующие благодаря своему малому резонансному сопротивлению и параллельному включению каскадов низкоомного выхода усилителя. Для уменьшения демпфирования колебательных контуров транзисторы *T1-T4* через резисторы подключены к отводам катушек.

Поскольку каскады переключения не имеют обратной связи, настройка их не требует абсолютной точности. Но эти каскады обладают значительно меньшей чувствительностью, чем оправдавший себя в радиоуправлении моделями сверхрегенератор Шумахера (см. рис. 20 и 21).

Последующие каскады работают в качестве усилителей постоянного тока и, включая мостовой каскад переключечения, собранный на транзисторах *T16-T19*, известны по аппаратуре дистанционного управления моделями.

5. Источники электропитания

Источники электропитания для аппаратуры дистанционного управления должны иметь небольшие массу и размеры, достаточную допустимую нагрузку (отдаваемая полезная мощность в единицу времени), достаточную емкость, постоянство напряжения в течение разряда, малое внутреннее сопротивление, приемлемую цену (или приемлемое соотношение цена/мощность), достаточно высокую эксплуатационную надежность и простоту обслуживания и приемлемые температурные характеристики.

Анализ имеющихся в продаже первичных и вторичных элементов показывает, что они не удовлетворяют всем требованиям. Выбор первичных или вторичных элементов для питания аппаратуры зависит в основном от потребляемой мощности и условий эксплуатации. Питание передатчика, имеющего выходную мощность до 300 мВт, при прерывистом режиме его работы может быть осуществлено от первичных элементов. При непрерывном же режиме работы более экономичным будет использование аккумуляторов (вторичных элементов).

Для портативной аппаратуры большое значение имеет такая характеристика источника питания, как его масса, приходящаяся на 1 Вт · ч. Эта характеристика зависит от размеров батареи или аккумулятора и равна:

для свинцовых аккумуляторов 55 г/Вт · ч;

для никелево-кадмиевых аккумуляторов 40 г/Вт · ч;

для первичных (угольно-цинковых) элементов 26 г/Вт · ч;

для серебряно-цинковых аккумуляторов 20 г/Вт · ч.

Но серебряно-цинковые аккумуляторы, как правило, недоступны из-за слишком большой стоимости.

По массе, приходящейся на 1 Вт · ч, первичные элементы удобны для установки в аппаратуру, но не отвечают требованиям, предъявляемым к постоянству напряжения. Особенно важно постоянство напряжения во время разряда, так как оно оказывает сильное влияние на выходную мощность и модуляционные искажения передатчика.

Для предотвращения изменения частоты и коэффициента усиления генератора, импульсного и низкочастотного блоков передатчика, а также входного каскада, гетеродина и усилителя промежуточной частоты супергетеродинного приемника питание их должно

быть стабилизировано с помощью стабилитрона.

Производя расчет источника питания, кроме перечисленных выше требований, необходимо учитывать электрические параметры и рабочие характеристики схемы. Таким образом, чтобы обеспечить максимальную эксплуатационную надежность аппаратуры, необходимо точное знание основных электрических параметров и рабочих характеристик первичных и вторичных элементов.

Следующие понятия будут часто использоваться в дальнейшем изложении:

п е р в и ч н ы й   э л е м е н т отдает электрическую энергию за счет разложения отрицательного электрода в электролите (процесс необратим);

в т о р и ч н ы й   э л е м е н т, называемый также аккумулятором, отдает электрическую энергию за счет перехода электродов из одного состояния в другое (процесс обратим, т. е. аккумуляторы являются перезаряжаемыми гальваническими элементами. При правильном уходе срок службы герметичных никелево-кадмиевых аккумуляторов составляет 200—300 зарядно-разрядных циклов);

г а л ь в а н и ч е с к и й   э л е м е н т состоит из двух электродов и электролита;

э л е м е н т представляет собой гальванический элемент, размещенный в корпусе;

б а т а р е я состоит из нескольких собранных в один блок и подключенных друг к другу гальванических элементов;

е м к о с т ь представляет собой количество электричества, которое может отдать гальванический элемент (измеряется в А·ч.).

5.1. Первичные элементы

Здесь рассмотрены только сухие элементы и батареи.

В широко используемом угольно-цинковом сухом элементе (рис. 182) положительный элемент состоит из одного или нескольких угольных стержней, погруженных в деполяризатор (двуокись марганца). Электролитом служит раствор аммиака, которым пропитано вещество, обладающее поглощающей способностью (пшеничная мука, древесные опилки, бумага). Цинковый корпус, в котором размещен гальванический элемент, одновременно является его отрица-

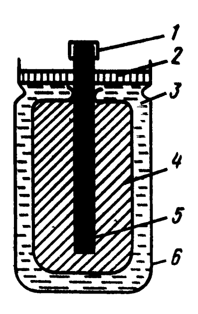


Рис. 182
Конструкция угольно-цинкового сухого элемента: 1 — металлический колпачок, 2 — герметизирующая масса, 3 — электролит (сгущенный раствор аммиака), 4 — деполяризатор (двуокись марганца), 5 — угольный стержень (положительный электрод), 6 — цинковый корпус (отрицательный электрод)

Рис. 183
Угольно-цинковые сухие элементы: *а* — плоская батарея типа *3 R 12*; *б* — цилиндрический элемент типа *R 20*; *в* — цилиндрический элемент типа *R 14*; *г* — цилиндрический элемент типа *R 6*

тельным электродом. Корпус герметизируется смолой или парафином (поэтому элемент и называется сухим), что позволяет использовать его в любом положении.

Наряду с имеющимися в продаже угольно-цинковыми элементами интерес представляют щелочно-марганцевые элементы и элементы на основе окиси ртути (элементы *Mallory*), обладающие большой емкостью и хорошим постоянством напряжения при разряде. Но они очень дороги.

В ГДР выпускаются следующие элементы и батареи (рис 183)

цилиндрический элемент типа *R 6* (миниатюрный), являющийся наименьшим из всех имеющихся в продаже в ГДР элементов. Он выпускается в герметичном и в накальном вариантах и может быть использован только там, где требуются малые размеры (в карманных передатчиках). При непрерывной работе допустимый ток составляет 20 мА;

цилиндрический элемент типа *R 14* (малый), по своим характеристикам почти соответствующий элементу типа *R 20*. Он имеет небольшие размеры и массу, но соответственно невелики емкость и срок службы. В продаже имеются элементы, предназначенные для накала, а также элементы в герметичном исполнении (импортные);

цилиндрический элемент типа *R 20* (одиночный), в настоящее время выпускаемый в трех вариантах: обычном, накальном и герметичном. Накальный вариант по сравнению с обычным имеет почти вдвое большую емкость и, следовательно, вдвое больший срок службы. Он обладает также улучшенной регенерирующей способностью и имеет повышенную герметичность. Герметичный вариант элемента обеспечивает защиту от утечки электролита и разбухания;

цилиндрическая батарея типа *2 R 10*, состоящая из двух цилиндрических элементов типа *R 10*. Из-за малой емкости и неудовлетворительных характеристик разряда эту батарею нельзя рекомендовать для питания аппаратуры дистанционного управления;

плоская батарея типа *3 R 12*, состоящая из трех цилиндрических элементов типа *R 12*. Пригодна для передатчиков небольшой мощности, особенно при прерывистом режиме их работы. При непрерывном разряде ток не должен превы-

Таблица 11

Технические характеристики первичных элементов и батарей

Тип	Габариты, мм	Масса, г	Номинальное напряжение, В	Время разряда за сутки, ч	Сопротивление разряда, Ом	Время разряда, ч	Ток короткого замыкания, А
R 6	⌀ 14,5×50	14	1,5	4	75	30	6
R 14	⌀ 26×50	50	1,5	4			
R 20 (накальный)	⌀ 34×60	95	1,5	4	40	150	7
2R 10	⌀ 21×74	45	3	0,12	10	1,5	3
3R 12	67×62×22	125	4,5	4	225	100	6

шать 25 мА. Более длинный соединительный язычок является минусовым полюсом батареи.

Основные технические характеристики (сухих элементов и батарей) приведены в табл. 11. Ниже дано пояснение основных электрических параметров и эксплуатационных характеристик.

Напряжение на зажимах ненагруженного гальванического элемента, измеренное с помощью высокоомного вольтметра, составляет от 1,55 до 1,75 В. Если элемент нагрузить, то напряжение на его зажимах падает до 1,3—1,6 В. Напряжение сильно зависит от нагрузки, типа элемента и степени его разряда. Из диаграммы (рис. 184) видны зависимости между напряжением на зажимах и нагрузкой, а также между нагрузкой и длительностью разряда. При уменьшении тока нагрузки на четверть

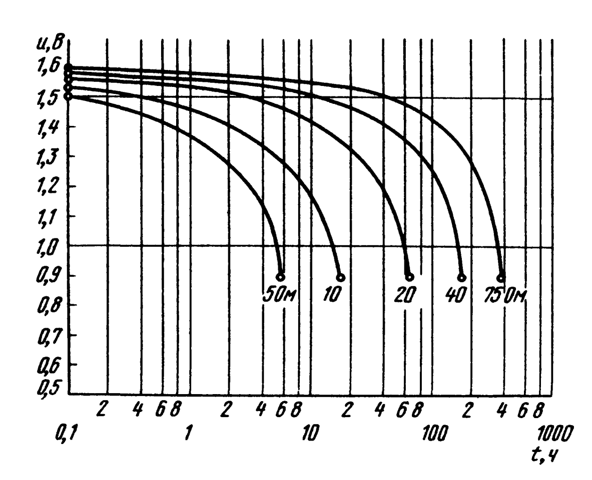


Рис. 184
Зависимость напряжения на зажимах от нагрузки и времени разряда для элемента типа *R 20*

время разряда увеличивается на порядок. Для наглядности на этой диаграмме принят логарифмический масштаб. Зависимость напряжения на зажимах от времени разряда при постоянном сопротивлении нагрузки, соответствующем степени разряда, отражает основной недостаток первичных источников (угольно-цинковых элементов) — большое изменение напряжения на зажимах при разряде.

Для накальных элементов конечное напряжение разряда составляет 0,9 В, т. е. во время разряда напряжение изменяется на 0,6 В, что соответствует 40%. Это вызывает определенные трудности при расчете аппаратуры дистанционного управления, так как изменение напряжения на зажимах приводит к изменению усиления каскадов, а также склонности их к самовозбуждению, т. е. оказывает значительное влияние на эксплуатационную надежность. При изменениях напряжения питания более чем на 10% необходимы специальные меры по его стабилизации. Без стабилизации может быть использована лишь примерно пятая часть емкости угольно-цинкового элемента или батареи. Поэтому при использовании угольно-цинковых элементов напряжение питания импульсного блока передатчика, входных каскадов и каскадов усиления промежуточной частоты супергетеродинного приемника стабилизируют (с помощью стабилитрона) до половины величины начального напряжения батареи. При большей нагрузке проявляются особенности угольно-цинковых элементов — их восстанавливаемость. При перерывах в нагрузке напряжение на зажимах снова возрастает на определенную величину за счет реакции в деполяризаторе, что видно из диаграммы на рис. 185.

Ток короткого замыкания является мерой допустимой нагрузки первичного источника тока и, кроме того, дополнительным критерием степени разряда, так как при разряде ток короткого замыкания падает быстрее,

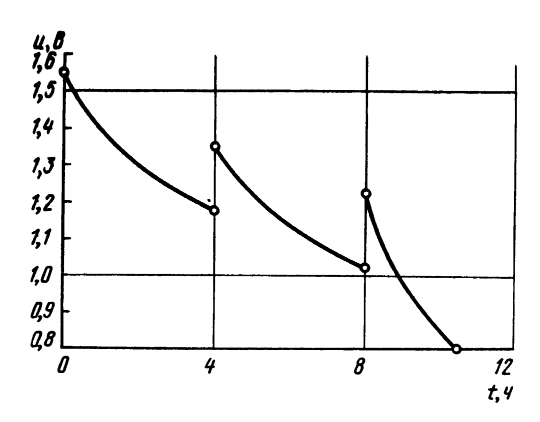


Рис. 185
Характеристика разряда элемента типа R 20 при его ежесуточном четырехчасовом разряде через сопротивление нагрузки 5 Ом

чем напряжение на зажимах.

Внутреннее сопротивление. Различают внутреннее сопротивление первичного элемента постоянному и внутреннее сопротивление переменному току. Оба зависят от нагрузки, степени разряда, времени хранения и температуры. Сопротивление переменному току зависит, кроме того, от частоты.

Внутреннее сопротивление оказывает большое влияние на характеристики аппаратуры дистанционного управления, особенно на характеристики передатчика. На постоянный ток, подаваемый источником питания для работы аппаратуры, накладывается составляющая переменного тока. Чтобы этот переменный ток не привел к падению напряжения на внутреннем сопротивлении источника тока и к паразитным обратным связям (к самовозбуждению и низкочастотным паразитным колебаниям усилительных каскадов), следует параллельно этому источнику тока установить конденсатор достаточно большой емкости, обеспечивающий дополнительное шунтирование по переменному току.

Емкость, влияние времени хранения. При возрастании времени хранения емкость первичного источника тока уменьшается. Предельный срок хранения зависит от конструкции элемента и температуры при хранении (при повышенных температурах саморазряд убыстряется). Как правило, изготовители гарантируют срок хранения обычных первичных элементов 6 месяцев, герметичных — 12 месяцев. На всех имеющихся в продаже первичных элементах указываются их срок хранения и дата выпуска. Превышение срока хранения приводит не только к уменьшению емкости источника, но может вызвать выделение раствора аммиака, а тот вызвать серьезные повреждения аппаратуры.

Влияние температуры. Точные данные дают семейства характеристик в технических паспортах. Однако для моделистов достаточно следующих указаний:

при −20°C разряд невозможен, электролит замерзает;

в диапазоне от −20 до 0°C возможен разряд при сниженной нагрузке, емкость снижается;

в диапазоне от 0 до +10°C элементы отдают значительно сниженную мощность;

при +20°C возможен нормальный разряд;

при +40°C возможен нормальный разряд при повышенной емкости (около 180%), при длительном разряде емкость падает более быстро;

при температуре, превышающей +50°C, происходит усиленный саморазряд элемента, а также механическое разрушение его.

Влияние величины разрядного тока. Емкость первичного источника тока во многом зависит от величины разрядного тока. При более высоком разрядном токе внутреннее сопротивление источника вызывает повышенные потери (что проявляется в повышенном его нагреве). Кроме

того, деполяризатор не может полностью связывать водород, поэтому внутреннее сопротивление элемента возрастает. С целью полного использования емкости первичного источника тока всегда следует отдавать предпочтение более щадящему режиму этого источника, не превышать значение разрядного тока, указанное изготовителем.

Влияние времени разряда. Первичные источники тока способны к восстановлению. Это их свойство особенно проявляется при форсированном режиме работы, но может проявляться и при щадящем режиме. С целью полного использования емкости следует выбирать батарею или элемент такого типа, который позволяет использовать щадящий режим. Желательно, чтобы процесс дистанционного управления представлял паузы, необходимые для восстановления источника.

При конструировании аппаратуры следует предусмотреть для батарей отдельный кожух из пластмассы, чтобы предотвратить повреждение электронной схемы в случае вытекания раствора аммиака. Не существует таких элементов или батарей, которые абсолютно гарантированы от выделения раствора аммиака или агрессивных паров. Особенно велика такая опасность при неправильном уходе или в случае появления дефектов (оставлении разряженного элемента или батареи в аппаратуре, слишком большом разряде элемента, перегреве прибора или коротком замыкании и т. д.).

При расчете электропитания выбор соответствующего первичного элемента определяют следующие его характеристики:

рабочее напряжение (максимальное и минимальное значения);

ток (максимальное и минимальное значения);

вид разряда;

требуемая емкость или время разряда;

располагаемый объем для батарей;

допустимая масса.

Выбирая с использованием характеристик источник соответствующего типа, отдавать предпочтение следует элементу накального типа, так как его емкость используется полнее.

Чтобы сократить время хранения и уменьшение емкости при этом, при разработке аппаратуры необходимо выбирать источник тока, который в паузах работы этой аппаратуры можно использовать в других устройствах. Так как герметичные никелево-кадмиевые аккумуляторы все чаще выпускают в габаритах сухих элементов, конструкция аппаратуры должна предусматривать их взаимную замену. Первичные элементы следует хранить в прохладном и сухом месте.

Время от времени необходимо проверять исправность источников тока. Признаком разряженного элемента, срок хранения которого превышен, является повышенное внутреннее сопротивление, которое приводит к уменьшению тока короткого замыкания. Этот

признак используют для оценки работоспособности источника тока. Разряженным источником тока или источником тока, срок которого превышен, следует считать источник, у которого:

ток короткого замыкания упал до половины его номинального значения;

ток короткого замыкания резко уменьшается во время его измерения.

Для проверки величины тока короткого замыкания никелево-кадмиевых аккумуляторов амперметром с внутренним сопротивлением менее 5 Ом достаточно 2 с.

Первичные источники тока рассчитаны на одноразовое использование. Их конструкция и протекающие в них химические процессы не позволяют заряжать эти источники, как аккумуляторы. Но существует возможность их восстановления, или регенерации, при которой:

разряд и восстановление должны периодически сменять друг друга;

степень восстановления очень сильно зависит от степени разряда элемента и времени между окончанием разряда и началом восстановления;

восстановление полностью разряженного элемента невозможно;

хорошей восстанавливаемостью обладают щелочные элементы с перекисью марганца, угольно-цинковые элементы являются условно восстанавливаемыми. Элементы *Mallory* не восстанавливаются (взрывоопасны).

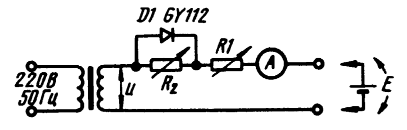


Рис. 186
Схема устройства для восстановления первичных элементов

Из множества способов восстановления здесь рассмотрен способ Беера. Восстановление здесь производится постоянным током, на который наложен переменный ток (рис. 186). При проведении восстановления должны быть выполнены следующие условия:

рабочее напряжение зарядного устройства должно быть выбрано так, чтобы для каждого элемента оно не превышало величины 1,7 В;

ток восстановления определяется типом элемента и должен составлять 25—30% от тока разряда.

В качестве ориентировочных значений можно принять для составляющей постоянного тока $I_{gleich} \approx 0{,}01 \cdot I_K$, для составляющей переменного тока $I_{wechsel} \approx 0{,}02 \cdot I_K$. Величину тока устанавливают с помощью переменных резисторов *R1* и *R2*. Чтобы увеличить составляющую постоянную тока, уменьшают сопротивление резистора *R1* и увеличивают сопротивление резистора *R2*. Для увеличения составляющей переменного тока уменьшают сопротивления обоих резисторов.

Сопротивления резисторов *R1* и *R2* можно рассчитать по следующим приближенным формулам:

$$R1 = \frac{16(U - E)}{I_K}, \qquad (72)$$

$$R2 = \frac{80(U + 1{,}5 \cdot E)}{I_K}, \qquad (73)$$

где $U = 1{,}5 \cdot E$.

При восстановлении одной батареи или одного элемента переменные резисторы целесообразно заменить постоянными: время восстановления примерно в 4,5—6 раз больше времени предыдущего разряда. Восстановление тем успешнее, чем короче был период разряда, его рекомендуется производить сразу же после разряда.

С помощью восстановления можно в 10—20 раз повышать полную емкость некоторых первичных источников тока.

При восстановлении следует проявлять осторожность. В результате неправильного обращения происходит выделение хлора, вызывающего коррозию аппаратуры, а потенциал элемента возрастает слишком высоко, что может привести к выходу из строя электронных элементов. Восстановленный первичный источник тока можно хранить лишь несколько дней.

5.2. Вторичные элементы

Вторичные элементы в отличие от первичных являются многократно заряжаемыми гальваническими элементами. При их заряде электрическая энергия преобразуется в химическую и хранится (аккумулируется) в таком виде, а при разряде снова преобразуется в электрическую энергию. Поэтому вторичные элементы называют аккумуляторами. Их применяют обычно там, где необходим непрерывный режим работы при относительно большом потреблении тока. Наиболее распространенным источником электропитания для аппаратуры пропорционального дистанционного управления является никелево-кадмиевый аккумулятор. Для обеспечения большого срока службы (для никелево-кадмиевого аккумулятора он составляет до 300 разрядно-зарядных циклов), необходимо строго выполнять указания по уходу и обслуживанию аккумуляторов.

Вторичные элементы классифицируются по типу материалов, из которых выполнены их электроды. Для аппаратуры дистанционного управления можно использовать имеющиеся в продаже герметичные никелево-кадмиевые и свинцовые аккумуляторы. Ниже дано их описание без пояснения протекающих в них химических процессов.

5.2.1. Герметичные никелево-кадмиевые аккумуляторы

По сравнению с угольно-цинковыми элементами герметичные никелево-кадмиевые аккумуляторы обладают следующими преимуществами:

высокой механической прочностью и вибропрочностью (их можно устанавливать в аппаратуре в любом положении);

мало изменяющимся напряжением разряда в диапазоне рабочих токов, что позволяет отказываться от стабилизаторов напряжения:

большим сроком службы. При строгом выполнении указаний по уходу и обслуживанию срок службы может составить до 10 лет или до 300 зарядно-разрядных циклов;

отсутствием опасности вытекания электролита благодаря герметичности аккумуляторов;

простотой ухода, который ограничен лишь выдерживанием требуемого зарядного тока и времени заряда;

более благоприятными характеристиками. Даже при длительном хранении наступает лишь небольшой саморазряд. При правильном хранении (в сухом месте, при 20° С) емкость за три месяца падает до 70%, а за 6 месяцев — 60% первоначальной ее величины;

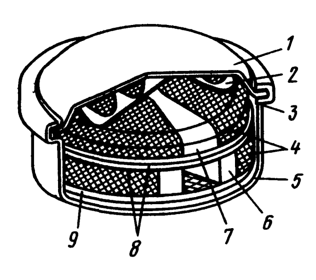


Рис. 187
Конструкция герметичного дискового никелево-кадмиевого аккумулятора: *1* — крышка, *2* — контактная пружина, *3* — уплотнительное кольцо, *4* — никелевая проволочная сетка, *5* — чашка, *6* — положительный электрод, *7* — отрицательный электрод, *8* — диафрагма, *9* — донная прокладка

экономичностью.

Для радиоуправления наибольший интерес представляют дисковые аккумуляторы и составленные из них батареи.

Чашеобразный корпус дискового никелево-кадмиевого аккумулятора (рис. 187) является положительным полюсом. В нем расположены положительные электроды из гидроокиси никеля и графита, а также отрицательные электроды из окиси кадмия. Электроды окружены электролитом, они разделены мелкопористой диафрагмой и запрессованы в «корзинку» из никелевой проволочной сетки. Корпус аккумулятора закрыт крышкой, представляющей собой отрицательный полюс. Корпус герметизирован с помощью уплотнительного кольца.

Процесс обслуживания ограничивается только зарядом и чисткой мест контакта. У аккумуляторов некоторых типов предусмотрены ушки для пайки. На аккумуляторах и батареях указаны месяц и год их изготовления.

Герметичные никелево-кадмиевые аккумуляторы выпускают цилиндрическими и дисковыми. Из тех и других делают батареи.

Моделисты для своей аппаратуры используют обычно батареи из дисковых аккумуляторов, а при необходимости большой емкости—цилиндрические аккумуляторы (рис. 188). Основные технические характеристики никелево-кадмиевых аккумуляторов приведены в табл. 12. Ниже дано пояснение их основных электрических па-

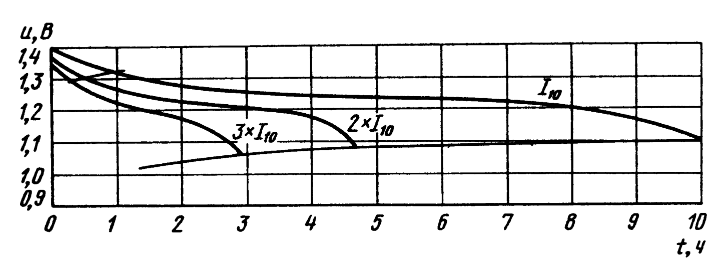
Рис. 188
Герметичные никелево-кадмиевые аккумуляторы. Слева батарея из дисковых никелево-кадмиевых аккумуляторов 4,8 В/450 мА · ч. Справа - батарея из цилиндрических никелево-кадмиевых аккумуляторов 4,8 В/500 мА · ч

раметров и эксплуатационных характеристик.

Напряжение на зажимах. На рис. 189 показано изменение напряжения на зажимах при разряде аккумуляторов. При токе десятичасового разряда I_{10} напряжение на зажимах каждого аккумулятора падает только на 0,2 В. Указанное на аккумуляторе значение напряжения в конце разряда, которое составляет 1,1 или 1,0 В (в зависимости от изготовителя), нельзя переходить, чтобы не вызвать необратимые повреждения аккумулятора (перемена полюсов, снижение емкости).

Напряжение разряда всегда измеряют под нагрузкой. Сравнивая результат контрольного измерения и значение, полученное с помощью характеристики, можно сделать вывод о зарядном состоянии аккумулятора. Не вызывая повреждений аккумуляторов, длительный ток разряда нормального аккумулятора может составлять $2 \cdot I_{10}$, а аккумулятора, предназначенного для усиленного разряда,— $3{,}5 \cdot I_{10}$. Если в конце рязряда напряжение достигло значения 1,1 или 1,0 В

Рис. 189
Изменение напряжения разряда полностью заряженного никелево-кадмиевого аккумулятора (450 мА·ч) в зависимости от времени разряда при токах I_{10}, $2 \cdot I_{10}$ и $3 \cdot I_{10}$



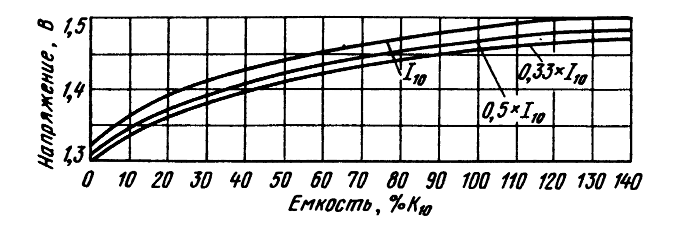


Рис. 190
Изменение напряжения заряда никелево-кадмиевого аккумулятора (450 мА·ч) в зависимости от времени заряда током неизменной величины I_{10}, $0,5 \cdot I_{10}$ и $0,33 \cdot I_{10}$. Время заряда при этом составляет соответственно 14, 28 и 42 ч

на один аккумулятор, то необходимо как можно быстрее произвести подзаряд. Характеристики показывают, что только при заряде током I_{10} напряжение достигает 1,5 В на один аккумулятор (рис. 190). Если заряжать аккумулятор при токе, меньшем I_{10}, то он зарядится до своей номинальной емкости при меньших напряжениях.

Напряжение заряда следует замерять всегда только при имеющемся токе заряда. Чтобы аккумулятор не перегревался при заряде (что может привести к его вспучиванию), заряд всегда следует проводить постоянным током I_{10} неизменной величины. Заряд при токе, меньшем I_{10}, допустим, но требует соответственно более длительного времени для достижения номинальной емкости. Заряд следует прекращать при достижении напряжения, указанного на диаграмме, иначе возникает опасность выделения газов и повреждения аккумулятора.

Внутреннее сопротивление. Точные данные о величине и изменении внутреннего сопротивления аккумулятора при разряде можно получить из соответствующего семейства характеристик. Для моделистов достаточно следующей приближенной формулы для расчета внутреннего сопротивления постоянному току:

$$R_i = \frac{0,1}{K_{10}}, \qquad (74)$$

где K_{10} (десятичасовую емкость) подставляют в А·ч, а R_i получают в Ом.

При разряде величина внутреннего сопротивления постоянному току возрастает примерно в три раза. Аккумуляторы, рассчитанные на большую нагрузку, отличаются особенно малым внутренним сопротивлением постоянному току. Внутреннее сопротивление переменному току аккумулятора зависит от состояния заряда и частоты.

Емкость. Для герметичных никелево-кадмиевых аккумуляторов в большинстве случаев в качестве номинальной емкости задают десятичасовую емкость K_{10}, а в качестве номинального тока разряда, следовательно, десятичасовой ток

Таблица 12

Технические характеристики никелево-кадмиевых аккумуляторов, выпускаемых Народным предприятием *VEB Galvanische Elemente*, г. Цвикау

Индекс	Обозначение по стандарту ГДР *TGL* 22807	Масса, г	Номинальная емкость, K_5, А·ч	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток разряда I_5, А	Напряжение в конце разряда (5 ч), В	Номинальный ток заряда (14 ч) $0,5 \cdot I_5$, мА	Максимальная высота, мм	Длина, диаметр, мм
9170.1	*A* 0,050 *Ah*	3,5	0,050	1,2	0,010	1,0	0,005	6,2	15.7
9170.3	*A* 0,225 *Ah*	11	0,225	1,2	0,045	1,0	0,0225	8,9	25.3
9170.3/1	*A* 0,225 *Ah-s*	11	0,225	1,2	0,045	1,0	0,0225	8,9	25.3
9170.4	*A* 0,450 *Ah*	30	0,450	1,2	0,090	1,0	0,045	7,2	43.3
9170.7/1	*A* 0,500 *Ah-s*	23	0,500	1,2	0,100	1,0	0,050	9,8	34.6
9170.5	*B* 3 *Ah*	145	3,000	1,2	0,600	1,0	0,300	6,3	33,5
9180.3.2.	*A* 2,4 *V* 0,225 *Ah*	30	0,225	2,4	0,045	2,0	0,0225	18,5	26,5
9180.3.5.	*A* 6,0 *V* 0,225 *Ah*	70	0,225	6,0	0,045	5,0	0,0225	45,5	26.5
9180.3/1.6	*A* 7,2 *V* 0,225 *Ah-s*	82	0,225	7,2	0,045	6,0	0,0225	54,5	26,5
9131.4	*B* 4,8 *V* 0,450 *Ah*	130	0,450	4,8	0,090	4,0	0,045	32,0	45,0
9180.4.5.	*B* 6,0 *V* 0,450 *Ah*	160	0,450	6,0	0,090	5,0	0,045	40,0	45,0
9180.7/1.3	*A* 3,6 *V* 0,500 *Ah-s*	75	0,500	3,6	0,100	3,0	0,050	30,0	36,3

Примечание. Аккумуляторы, индекс которых подчеркнут, предназначены для усиленного разряда

разряда I_{10}, определяемый следующей формулой:

$$\frac{1}{10ч} \cdot K_{10} = I_{10}. \qquad (75)$$

Некоторые изготовители аналогично этому указывают номинальную емкость K_5, отнесенную к пятичасовому току разряда I_5, принимаемому номинальным. При превышении номинального тока разряда I_{10} или I_5 аккумулятор не отдает полную емкость. При токе $7 \cdot I_{10}$ аккумулятор отдает лишь 50% своей емкости (рис. 191).

Большое влияние на емкость этих аккумуляторов оказывает рабочая температура. При температуре, отличающейся от нормальной (20° С), аккумулятор также не отдает полной емкости. При частом использовании аккумулятора в условиях повышенных температур следует считаться с потерями емкости, эта потеря восполняется при последующей работе в условиях более низких рабочих температур. Невыполнение требований инструкции по хранению аккумулятора также приводит к снижению его емкости.

Как «перезаряд», так и «недозаряд» приводят к потерям емкости. При этом следует безусловно принимать во внимание то, что коэффициент заряда герметичного никелево-кадмиевого аккумулятора должен составлять 1,4, т. е. энергия заряда должна быть в 1,4 раза больше энергии, полученной при разряде. Другими словами, КПД по ампер-часам этих аккумуляторов равен 71,4%.

Уход и обслуживание. Герметичные никелево-кадмиевые аккумуляторы почти не требуют ухода. Необходимо лишь следить, чтобы они не находились в условиях влажности и сильных колебаний температуры, предотвращая этим разряд через ток утечки по поверхности и за счет коррозии. Кроме того, следует строго придерживаться указаний относительно процессов разряда и заряда. Ниже изложены указания по заряду таких аккумуляторов Народного предприятия *VEB Galvanische Elemente*, г. Цвикау.

Заряд герметичных никелево-кадмиевых аккумуляторов следует производить при постоянном токе, величина которого должна оставаться неизменной. Напряжение в конце заряда равно примерно 1,5 В на один аккумулятор. Номинальный ток заряда, который должен быть равен $0{,}5 \cdot I_5$,

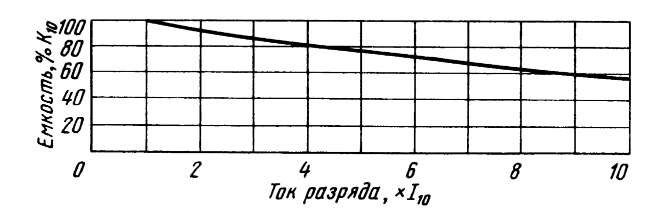


Рис. 191
Изменение емкости дискового аккумулятора (450 мА·ч) в зависимости от величины тока разряда

вначале не должен превышать максимального допустимого значения $0{,}55 \cdot I_5$. Коэффициент заряда этих аккумуляторов составляет 1,4.

Перезаряд недопустим, он снижает срок службы аккумулятора. Не следует также допускать заряд при неизменном напряжении. Если от аккумулятора требуется длительная готовность к работе, то его можно подзаряжать постоянно. Максимальный допустимый ток при этом составляет $0{,}01 \cdot I_5$. Температура при заряде должна составлять от 15 до 35° С, но наиболее благоприятной является температура 20°С.

Разряд. Номинальный ток разряда равен I_5. Относительно этого тока рассчитывают номинальную емкость. При некоторых условиях работы номинальный ток разряда не может быть выдержан. При длительном разряде нельзя превышать максимальное значение тока, равное $2{,}5 \cdot I_5$. Напряжение разряда не должно быть ниже указанного в табл. 12 напряжения в конце разряда. К уменьшению емкости приводит также разряд при токе, превышающем его номинальное значение. Например, при токе разряда $2{,}5 \cdot I_5$ емкость аккумулятора составляет примерно 70% его номинальной емкости (K_5). Температура во время разряда должна составлять от −20 до +35° С. Если разряд током I_5 происходит при температуре −20° С, емкость аккумулятора используется примерно на 30%, если при +35°С — примерно на 90%. При температурах, лежащих за пределами этого диапазона, герметичные аккумуляторы неработоспособны. Когда температура опускается ниже −20°С, появляются колебания емкости, которые заранее предсказать нельзя, когда разряд аккумулятора происходит при температуре выше +35 °С, уменьшается его срок службы.

Хранение. Аккумуляторы хранят при температуре от −30 до +40° С в сухом и прохладном помещении. Герметичные аккумуляторы, поставляемые изготовителем заряженными или уже бывшие в эксплуатации, могут храниться в заряженном состоянии. Аккумуляторы, как и другие гальванические элементы, подвержены саморазряду. Поэтому они после полугодового хранения должны быть нормально заряжены (14 ч током $0{,}5 \cdot I_5$; после трехмесячного хранения — 7 ч).

Последовательное включение. Аккумуляторы можно включать последовательно для получения напряжений до 12 В. При этом ток разряда 12-В батареи не должен превышать I_5. В новой батарее все аккумуляторы имеют примерно одинаковые характеристики, но через некоторое время отдельные из них могут потерять свою емкость. Преждевременный разряд отдельного аккумулятора можно выявить с помощью замера полного напряжения у батарей, суммарное напряжение которых не превышает 12 В. При более высоких суммарных на-

пряжениях это уже невозможно, так как никелево-кадмиевые аккумуляторы не обладают неизменным напряжением. В зависимости от нагрузки и времени разряда это напряжение колеблется в пределах 1,1—1,35 В.

При полном разряде батареи отдельные аккумуляторы разряжаются ниже допустимого уровня и изменяют свою полярность. Это изменение полярности вызывает образование газов, интенсивность которого пропорциональна току разряда батареи, что может привести к вспучиванию аккумулятора. Если в отдельных случаях необходимо напряжение более 12 В, то необходимо принять специальные меры, чтобы выявить и удалить вышедшие из строя аккумуляторы.

Параллельное включение. Такого включения аккумуляторов следует, как правило, избегать. Если же оно необходимо, то использовать для этого нужно аккумуляторы одного типа. Кроме того, параллельно включать можно только аккумуляторы, изготовленные в одно и то же время и имеющие одинаковые характеристики, такие как внутреннее сопротивление и напряжение в конце разряда. Поэтому следует избегать параллельного включения новых и бывших в употреблении аккумуляторов. При таком включении следует использовать проводники минимальной длины, имеющие минимально возможное сопротивление, а подводящий и отводящий проводники должны подходить возможно точнее к серединам соединений. Параллельно соединенные аккумуляторы не следует разряжать при токе, большем чем I_5.

5.2.2. Герметичные свинцовые аккумуляторы

В ГДР выпускаются герметичные свинцовые аккумуляторы емкостью 0,5 и 0,25 А · ч (рис. 192). Эти аккумуляторы отличаются хорошими эксплуатационными характеристиками; их конструкция соответствует конструкции нормальных свинцовых аккумуляторов с жидким электролитом, но здесь электролит сгущен с помощью каолина или кремниевой кислоты, а полиэтиленовый корпус запаян, образуя герметичный элемент. К преимуществам этих довольно дешевых малогабаритных аккумуляторов относятся:

возможность работы в любом положении;

неизменное напряжение разряда. Напряжение на зажимах при разряде падает лишь незначительно и почти вплоть до полного разряда уменьшается только на 0,1 В (на один аккумулятор);

хорошие зарядные характеристики. Аккумулятор 2 В/0,5 А · ч после 25 зарядно-разрядных циклов еще сохраняет 50% своей емкости, аккумулятор же 2 В/0,25 А · ч выдерживает значительно большее количество таких циклов. Так, после 100 циклов он еще сохраняет 80% номинальной емкости. Условием этого явля-

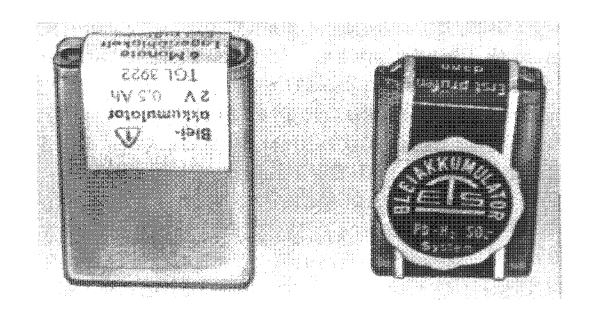


Рис. 192
Герметичные свинцовые аккумуляторы. Справа — 2 В/500 мА·ч, слева 2 В/250 мА·ч

ется соблюдение указаний по уходу и обслуживанию этих аккумуляторов;

отсутствие вытекающего электролита. Аккумуляторы имеют конструкцию, которая при правильном уходе за ними предотвращает вытекание электролита и выделение агрессивных паров;

простота обслуживания, которое ограничено лишь выдерживанием необходимого значения зарядного тока и времени заряда;

длительное время хранения благодаря очень малому саморазряду. При нормальном хранении (в сухом месте, при 20° С) в течение 16 месяцев номинальная емкость уменьшается лишь на 50%. Поэтому герметичные свинцовые аккумуляторы особенно пригодны для использования при малых или кратковременно требуемых токах;

способность выдерживать большую нагрузку. Разряд при токе, превышающем I_{10}, хотя и приводит к потере емкости, но не вызывает повреждений аккумулятора;

экономичность.

К недостаткам этих аккумуляторов следует отнести:

довольно большую массу;

малые механическую и вибропрочность, что создает опасность при установке их на моделях с двигателями внутреннего сгорания.

Герметичный свинцовый аккумулятор представляет собой замкнутую систему, поэтому открывать его и доливать электролит нельзя. Основные технические характеристики приведены в табл. 13. Ниже дано пояснение его основных электрических параметров и эксплуатационных характеристик.

Напряжение на зажимах. Из кривой разряда при токе I_{10} (диаграмма на рис. 193) видно, что напряжение на зажимах остается приблизительно постоянным в большом диапазоне рабочих режимов. Это иллюстрирует еще одно преимущество герметичных свинцовых аккумуляторов. Диаграмма выполнена в логарифмическом масштабе, чтобы можно было наглядно представить область усиленного разряда. Аккумулятор можно нагружать вплоть до токов $10 \cdot I_{10}$, хотя и с потерей емкости, но без повреждения конструкции. В этом отношении

Таблица 13

Технические характеристики герметичных свинцовых аккумуляторов, выпускаемых народным предприятием *VEB Elektrotechnische Fabrik*, **г. Зонneберг**

Тип	Масса, г	Номинальная емкость K_{10}, А·ч	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток разряда I_{10}, мА	Напряжение в конце разряда, В	Напряжение в конце заряда, В	Номинальный ток заряда (20 ч) I_{10}, мА	Габариты, мм
2 В/0,5 А·ч	38	0,5	2	50	1,8	2,3	50	34×13×43
2 В/0,25 А·ч	25	0,25	2	25	1,8	2,3	25	28×10×36

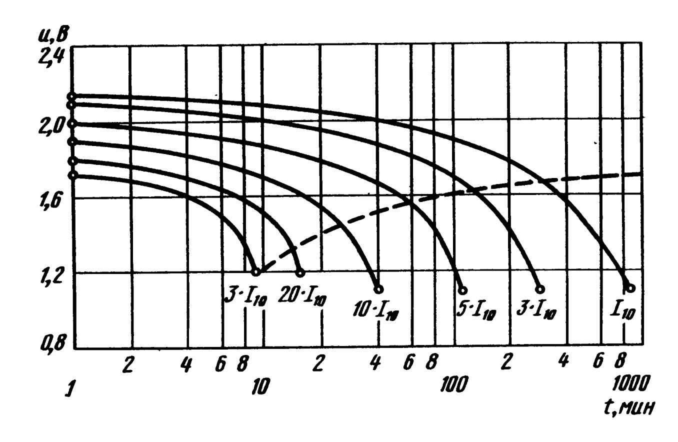


Рис. 193
Изменение напряжения разряда свинцового аккумулятора (2 В/250 мА·ч) при различных нагрузках (от $30 \cdot I_{10}$ до I_{10})

свинцовые аккумуляторы значительно превосходят никелево-кадмиевые. Напряжение в конце разряда составляет 1,8 В на один аккумулятор. Срок службы аккумулятора можно значительно увеличить, если снова его заряжать до достижения напряжения в конце разряда.

Аккумуляторы 2 В/0,25 А·ч относительно нечувствительны к глубокому разряду. Через несколько зарядно-разрядных циклов они возвращают свою номинальную емкость. О состоянии заряда аккумулятора можно судить по диаграмме (рис. 194), измерив напряжение на зажимах под нагрузкой. Важным для повышения срока службы герметичных свинцовых аккумуляторов является точное соблюдение указаний по их заряду. В процессе заряда напряжение на зажимах изменяется, как это показано на рис. 194. Заряд проводят при токе I_{10} и прекращают при напряжении ниже напряжения разложения, которое равно примерно 2,3 В на один акку-

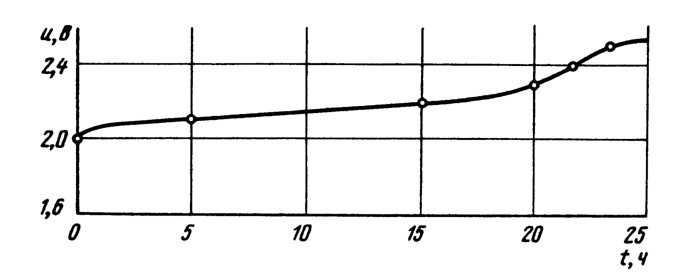


Рис. 194
Изменение напряжения заряда свинцового аккумулятора (2 В/250 мА · ч) при неизменном токе I_{10}

мулятор. В противном случае выделение газов приводит к вспучиванию и разрушению аккумулятора.

Внутреннее сопротивление. Сведения об этом параметре изготовители не дают. Но сравнение внутренних сопротивлений герметичных свинцовых и никелево-кадмиевых аккумуляторов показывает, что для первых оно меньше и имеет более благоприятное изменение, чем для вторых.

Емкость. К качестве номинальной емкости для герметичных свинцовых аккумуляторов принята десятичасовая емкость K_{10}, а в качестве номинального разряда — десятичасовой ток разряда I_{10}. Связь между током разряда и емкостью показана на рис. 195. Из рисунка видно, что даже при нагрузке $10 \cdot I_{10}$ аккумулятор еще отдает 50% своей номинальной емкости.

Значительное влияние на емкость оказывает также рабочая температура. В области пониженных температур аккумуляторы этого типа имеют еще удовлетворительную емкость. Например, при −20° С можно получить около 50% их номинальной емкости. При температурах, превышающих 20° С, ускоряется процесс саморазряда.

Уход и обслуживание. Уход за герметичными свинцовыми аккумуляторами и их обслуживание примерно такие же, как для герметичных никелево-кадмиевых.

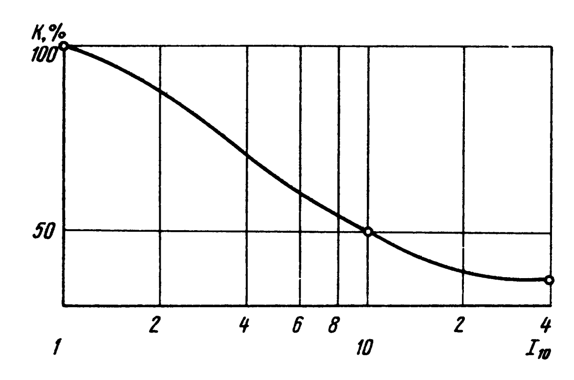


Рис. 195
Изменение емкости свинцового аккумулятора (2 В/250 мА·ч) в зависимости от величины тока разряда

Хранение. Аккумуляторы следует хранить в нормальных условиях (в сухом и прохладном месте). Герметичные свинцовые аккумуляторы поставляются в заряженном состоянии. Для компенсации саморазряда после хранения в течение одного года следует провести их нормальный 10-часовой заряд током I_{10}.

Последовательное и параллельное включение изготовитель рекомендует осуществлять лишь в ограниченном объеме.

Заряд герметичных свинцовых аккумуляторов производится постоянным током неизменной величины. Напряжение в конце заряда составляет около 2,3 В на один аккумулятор. Номинальный ток заряда равен I_{10}. Коэффициент заряда этих аккумуляторов составляет 2,0, т. е. емкость заряда в два раза больше полученной от аккумулятора емкости. Следует избегать перезаряда, так как он ведет к разрушению аккумулятора.

Разряд. Номинальный ток разряда I_{10}. При длительном разряде максимальный разрядный ток не должен превышать $10 \cdot I_{10}$. Следует также следить, чтобы напряжение в конце разряда не было ниже 1,8 В на один аккумулятор. Разряд при токах, превышающих номинальный ток разряда, приводит к уменьшению емкости аккумулятора. Разряд следует производить при температуре в диапазоне от +20 до +35 °С. Частый разряд при температурах более +35° С приводит к сокращению срока службы аккумулятора.

5.3. Схемы стабилизации

5.3.1. Стабилизация напряжения питания

Аппаратура дистанционного управления с низкочастотным кодированием команд, как правило, обладает удовлетворительной эксплуатационной надежностью даже при отсутствии в ней схемы стабилизации напряжения питания. Наоборот, в аппаратуре с цифровым кодированием условием обеспечения достаточной эксплуатационной надежности и необходимой точности управления является стабилизация этого напряжения для отдельных узлов. В аппаратуре пропорционального управления с цифровым кодированием такими узлами являются импульсный блок передатчика и высокочастотный блок, а также усилитель промежуточной частоты приемника.

Питание цифровой аппаратуры в большинстве случаев осуществляется от никелево-кадмиевых аккумуляторов, благодаря чему приходится компенсировать лишь относительно небольшие колебания напряжения. Это делает достаточными даже простые мероприятия по стабилизации напряжения.

Простейшая схема стабилизации напряжения представляет собой последовательно включенные резистор и стабилитрон (рис. 196). На эту схе-

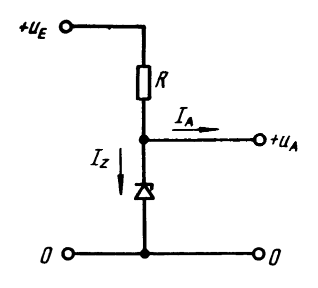


Рис. 196
Схема стабилизации напряжения со стабилитроном

му поступает входное изменяющееся напряжение U_E. Стабилизированное выходное напряжение U_A снимают параллельно стабилитрону. При уменьшении тока нагрузки I_A ток I_Z, протекающий через стабилитрон, возрастает почти на такую же величину, благодаря чему выходное напряжение остается примерно неизменным. Если же входное напряжение увеличится, то ток I_Z возрастет настолько, что падение напряжения на резисторе R компенсирует это увеличение входного напряжения. В качестве коэффициента стабилизации S принято отношение относительного изменения входного напряжения к относительному изменению выходного напряжения:

$$S = \frac{\Delta U_E/U_E}{\Delta U_A/U_A}. \qquad (76)$$

При достаточно большом сопротивлении резистора R:

$$S \approx \frac{R}{r_Z} \cdot \frac{U_A}{U_E} \qquad (77)$$

Чтобы стабилитрон не вышел из строя под воздействием слишком большого тока и граница диапазона стабилизации при минимальном токе не перешла в область разрушения стабилитрона, сопротивление резистора R должно удовлетворять следующим отношениям:

$$R > \frac{U_{E\,max} - U_A}{I_{Z_{max}} + I_{A_{min}}}, \qquad (78)$$

$$R < \frac{U_{E\,min} - U_A}{I_{Z_{min}} + I_{A_{max}}}. \qquad (79)$$

Ток $I_{Z\,max}$ представляет собой максимально допустимую величину, показанную в техническом паспорте стабилитрона. Величину тока $I_{Z\,min}$ принимают равной 0,05—0,1 $\cdot I_{Z\,max}$.

При выборе стабилитрона необходимо обращать внимание на допустимую рассеиваемую мощность. Не рекомендуется выбирать режим работы при максимально допустимой рассеиваемой мощности, так как при больших токах стабилитрон сильно нагревается, и его температурная характеристика (изменение обратного напряжения пробоя) становится неблагоприятной. Для обеспечения хорошей стабилизации в качестве входного напряжения следует выбирать по возможности двукратное значение выходного напряжения.

Пример. Пусть для импульсного блока передатчика необходимо обеспечить неизменное напряжение питания. При напряжении на зажимах

8 В ток, протекающий через этот блок, составляет 10 мА. Входное напряжение изменяется в пределах от $U_{E\,max}=14$ В до $U_{E\,min}=11$ В. Выбрав стабилитрон типа *SZX* 18/8,2 с параметрами: $U_Z=8{,}2$ В и $P_{V\,max}=250$ мВт, получают:

$$R_{min}=\frac{14\,\text{В}-8{,}2\,\text{В}}{25\,\text{мА}+10\,\text{мА}}=166\ \text{Ом},$$

$$R_{max}=\frac{11\,\text{В}-8{,}2\,\text{В}}{2{,}5\,\text{мА}+10\,\text{мА}}=465\ \text{Ом}$$

Сопротивление резистора *R* принято равным 430 Ом. Для проверки находят рассеиваемую мощность стабилитрона:

$$P_V=U_A\cdot\left(\frac{U_{E_{max}}-U_A}{R}-I_{A_{min}}\right)=8{,}2\,\text{В}\cdot\left(\frac{14\,\text{В}-8{,}2\,\text{В}}{430\ \text{Ом}}-10\ \text{мА}\right)=28{,}7\ \text{мВт}. \quad (80)$$

Следовательно, стабилитрон не перегружен.

Выходную мощность схемы стабилизации на стабилитроне можно повысить, подавая стабилизированное этой схемой напряжение на базу транзистора и снимая выходное напряжение с его эмиттера (рис. 197). Коэффициент стабилизации, как и при параллельном включении, определяется отношением R_1/r_Z.

Резистор *R2* предназначен только для ограничения рассеиваемой мощности транзистора, т. е. он может и отсутствовать. Выходным напряжением является напряжение, стабилизированное стабилитроном и уменьшенное на пороговое напряжение транзистора. Схема, показанная на рис. 197, пригодна для стабилизации напряжения питания импульсного блока передатчика пропорциональных команд.

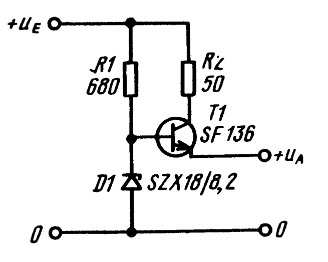


Рис 197
Схема стабилизации напряжения транзистором и стабилитроном

5.3.2. Схемы защиты для сухих аккумуляторов

Срок службы сухих аккумуляторов можно значительно увеличить, если уменьшить скорость их постепенного разряда при длительном хранении. Схема (рис. 198), предназначенная для подзаряда свинцовых аккумуляторов при снижении напряжения на один аккумулятор до 1,8 В и никелево-кадмиевых аккумуляторов при снижении этого напряжения до 1,1 В, работает следующим образом.

Если напряжение аккумулятора больше суммы напряжения U_Z на стабилитроне *D1* и напряжения участка база-эмиттер транзистора *T2*, то через резистор *R1* и стабилитрон *D1* течет ток базы, открывающий транзистор *T2*. При этом

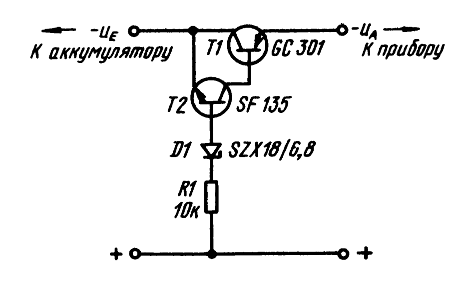


Рис. 198
Схема защиты сухих аккумуляторов от разряда ниже допустимой величины

транзистор *T1* также открывается и на выходе появляется напряжение аккумулятора, уменьшенное только на остаточное напряжение U_{CErest} транзистора *T1*.

Если напряжение аккумулятора меньше суммы напряжений U_Z и U_{BE2}, то через транзистор *T2* в качестве тока базы течет только запирающий ток стабилитрона (несколько нА). Поэтому транзисторы *T2* и *T1* запираются. Даже при коротком замыкании на выходе

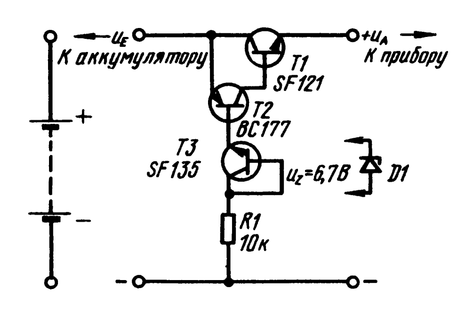


Рис. 199
Схема защиты аккумуляторов от разряда ниже допустимой величины, собранная на транзисторах со взаимодополняющими структурами

может появиться только запирающий ток транзистора *T1*. Чтобы падение напряжения на транзисторе *T1* оставалось малым, он должен быть германиевым. В качестве транзистора *T2* может быть взят почти любой кремниевый *p-n-p*-транзистор. Стабилитрон можно заменить более дешевым кремниевым транзистором *T3*, так как характеристика его диода «база-эмиттер» является типичной характеристикой стабилитрона.

Схема работает также при установке в нее транзисторов со взаимодополняющими структурами, но при изменении полярности схемы (рис. 199). Напряжение выключения при соответствующем напряжении на зажимах определяется выбором стабилитрона, имеющего необходимое напряжение U_Z, и может быть изменено в широких пределах.

5.4. Зарядные устройства

Уже говорилось о значении правильного заряда никелево-кадмиевых аккумуляторов. Под правильным зарядом понимают заряд неизменным током (I_{10}) вплоть до достижения полной емкости. Никелево-кадмиевые аккумуляторы чувствительны как к перезаряду, так и к недозаряду. При сравнении характеристик, представленных на рис. 189 и 190, видно, что к концу процесса заряда напряжение на зажимах изменяется очень мало и в течение последних 3,5 ч, т. е. в последней четверти процесса,

Таблица 14

Значения напряжений на зажимах батарей из герметичных дисковых никелево-кадмиевых аккумуляторов для оценки состояния их заряда

Восполняемая емкость, %	Требуемое время заряда, ч	Напряжение разряда на один аккумулятор, В	Напряжение разряда, В			
			Батареи 12 В	Батареи 6 В	Батареи 4,8 В	Батареи 2,4 В
10	1,5	1,30	13,0	6,50	5,20	2,60
20	3,0	1,27	12,7	6,35	5,08	2,54
30	4,5	1,25	12,5	6,25	5,00	2,50
40	6,0	1,23	12,3	6,15	4,91	2,46
50	7,5	1,21	12,1	6,05	4,84	2,42
60	9,0	1,20	12,0	6,00	4,80	2,40
70	10,5	1,19	11,9	5,95	4,76	2,38
80	12,0	1,17	11,7	5,85	4,68	2,34
90	13,0	1,10	11,0	5,50	4,40	2,20
100	14,0	1,00	10,0	5,00	4,00	2,00

возрастает примерно на 0,02 В (на аккумулятор). При разряде током I_{10}, наоборот, напряжение на зажимах уменьшается только в первые часы — в течение первых 10% длительности процесса разряда примерно на 0,1 В (на один аккумулятор). Состояние заряда никелево-кадмиевого аккумулятора проще определить по состоянию его разряда, так как можно использовать бо́льшую по величине разность напряжений, которую легко измерить с помощью несложных устройств.

При использовании простых зарядных устройств необходимо точно знать состояние заряда аккумулятора для определения необходимого времени его подзаряда. Как уже было сказано, состояние заряда определяется замером напряжения на зажимах при нагрузке $2 \cdot I_{10}$.

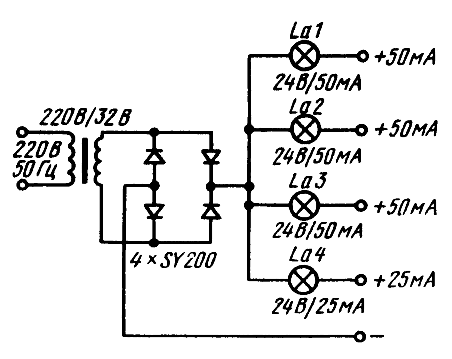
Требуемое время заряда можно быстро найти по табл. 14. Приведенные в ней значения являются, однако, лишь ориентировочными. Так как характеристика разряда никелево-кадмиевого аккумулятора изменяется в зависимости от «возраста» и качества ухода за ним, его необходимо ежегодно проверять. При этом аккумулятор заряжают до номинальной емкости и разряжают (током $2 \cdot I_{10}$), сравнивая через каждые 30 мин напряжение на зажимах с данными характеристики разряда.

5.4.1. Простые зарядные устройства

Устройство, схема которого показана на рис. 200, позволяет одновременно и независимо друг от друга зарядить несколько аккумуляторов. На выпрямитель, собранный по двухполупериодной схеме, напряжение подается через трансформатор. Зарядный ток течет через лампы накаливания *La1* = *La4*, что обеспечивает его ограничение до максимально допустимой величины I_{10}. Благодаря этому предотвращена возможность короткого замыкания и обеспечена неизменность зарядного тока I_{10} при напряжении на зажимах аккумулятора от 1,2 до 12 В. Лампы одновременно предназначены для сигнализации о процессе заряда. Для каждого из аккумуляторов можно точно задавать время заряда благодаря независимости данного процесса.

Варианты устройства имеют свои преимущества и недостатки. Устройство, показанное на рис. 201, наряду с простотой имеет еще одно преимущество. При напряжении заряда, изменяющемся в пределах от 4 до 20 В, зарядный ток, равный 25 мА, изменяется лишь на ±0,2 мА. Следовательно, это устройство пригодно для заряда током неизменной величины. Небольшие размеры позволяют устанавливать его непосредственно в передатчик.

Рис. 200
Простое зарядное устройство с трансформатором



С помощью устройства можно заряжать аккумулятор передатчика 12 В/450 мА·ч и одновременно, через зарядную фишку,— аккумулятор приемника 6 В/450 мА·ч или 4,8 В/450 мА·ч.

Недостатком устройства является то, что независимо от полярности напряжения сети (фаза или ноль) на аккумулятор подается почти все напряжение (220 В). Поэтому для обеспечения безопасности необходимо следить за правильностью выполнения конструкции и изоляции всех токопроводящих элементов согласно требованиям соответствующих инструкций. Со стороны сети установлен предохранитель 100 мА.

Лампа накаливания со стороны аккумулятора выполняет роль сигнализатора о процессе заряда и дополнительного предохранителя. Если по каким-либо причинам ток через аккумулятор превысит 50 мА, лампа перегорит.

При заряде аккумулятора передатчика клеммы *C* и *D* замыкаются накоротко. Процесс заряда необходимо прерывать при напряжении 1,48 В на один аккумулятор.

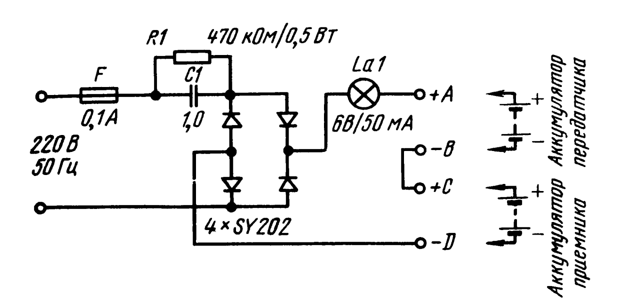
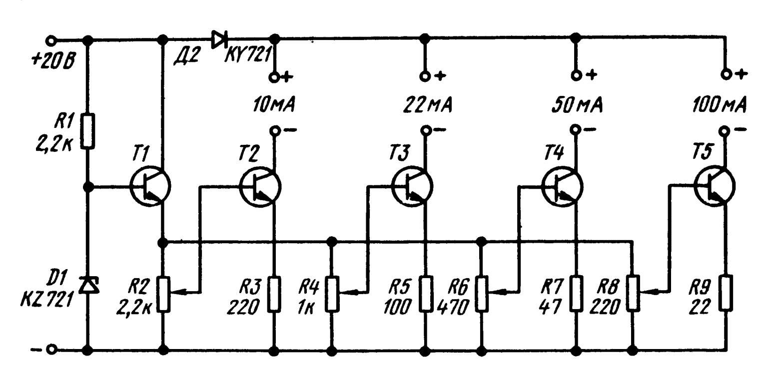


Рис 201
Встроенное зарядное устройство

Наиболее благоприятным для герметичных аккумуляторов является заряд током неизменной величины. Это можно реализовать относительно несложным способом. Выходной ток зарядного устройства, показанного на рис. 202, не зависит от колебаний напряжения на входе и от сопротивления аккумулятора. Соответствующий зарядный ток течет через соответствующий транзистор и на сопротивлении его эмиттера вызывает падение напряжения, которое на эмиттере транзистора *T1* сравнивается с напряжением, стабилизированным с помощью диода *D1*. Следовательно, транзисторы *T2* — *T5* работают как регулируемые усилители. С помощью соответствующего резистора в цепи эмиттера транзистора *T1* можно установить требуемую величину выходного тока.

В случае неправильной установки аккумулятора по полярности диод *D1* работает как запирающий диод и тем самым предохраняет транзисторы от обратного тока и изменения полярности транзисторов при отключении зарядного устройства от сети. Изменение полярности и выход из строя аккумулятора вследствие неправильной установки не предот-

Рис. 202
Устройство заряда аккумуляторов током неизменной величины. Транзисторы *T1-T5* типа *KF 507*



вращаются диодом *D2* при включенном устройстве.

5.4.2. Автоматически отключающееся зарядное устройство

С учетом требований, предъявляемых к заряду герметичных аккумуляторов, и выводов (см. раздел 5.4) в отношении определения состояния заряда была поставлена задача разработать автоматически отключающееся зарядное устройство. При этом аккумулятор должен заряжаться током I_{10} и самостоятельно (автоматически) отключаться при достижении полного заряда. Полный заряд определяется с помощью измерения напряжения «под нагрузкой». Эту задачу можно решить при использовании цифровых модулей. Принцип действия такого зарядного устройства можно пояснить с помощью его блок-схемы (рис. 203).

Никелево-кадмиевый аккумулятор подключают к переключателю (к релейным контактам), который попеременно переводит аккумулятор из режима «Заряд» в режим «Измерение напряжения на зажимах под нагрузкой» и наоборот. Собственно отключение, или окончание процесса заряда при достижении напряжения в конце заряда, осуществляет триггер Шмитта, работающий как пороговый выключатель. Тактовые импульсы для переключения с заряда на измерение, и наоборот, подает автоколебательный мультивибратор. Чтобы даже при переменной температуре внешней среды и при уменьшающемся входном напряжении обеспечить постоянство условий заряда, напряжение питания получают при стабилизации сетевого напряжения.

Устройство рассчитано на одновременный заряд аккумуляторов приемника и передатчика. Аккумуляторы можно заряжать и по отдельности.

Схема автоматически отключающегося зарядного устройства представлена на рис. 204. Если якорь реле притянут (что соответствует рабочему состоянию), то аккумулятор приемника заряжается через лампу *La1*, а аккумулятор передатчика — через лампу *La2*. Нагрузкой аккумуляторов являются цепочки *R1, C1* и *R20, C4*, следовательно, импульс тока заряда конденсатора *C1* или *C4* используется для нагрузки аккумулятора.

Этот метод полностью отвечает поставленным требованиям и используется также потому, что при окончании процесса заряда аккумулятор

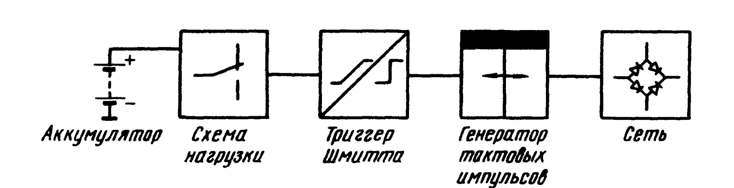


Рис. 203
Блок-схема автоматически отключающегося зарядного устройства

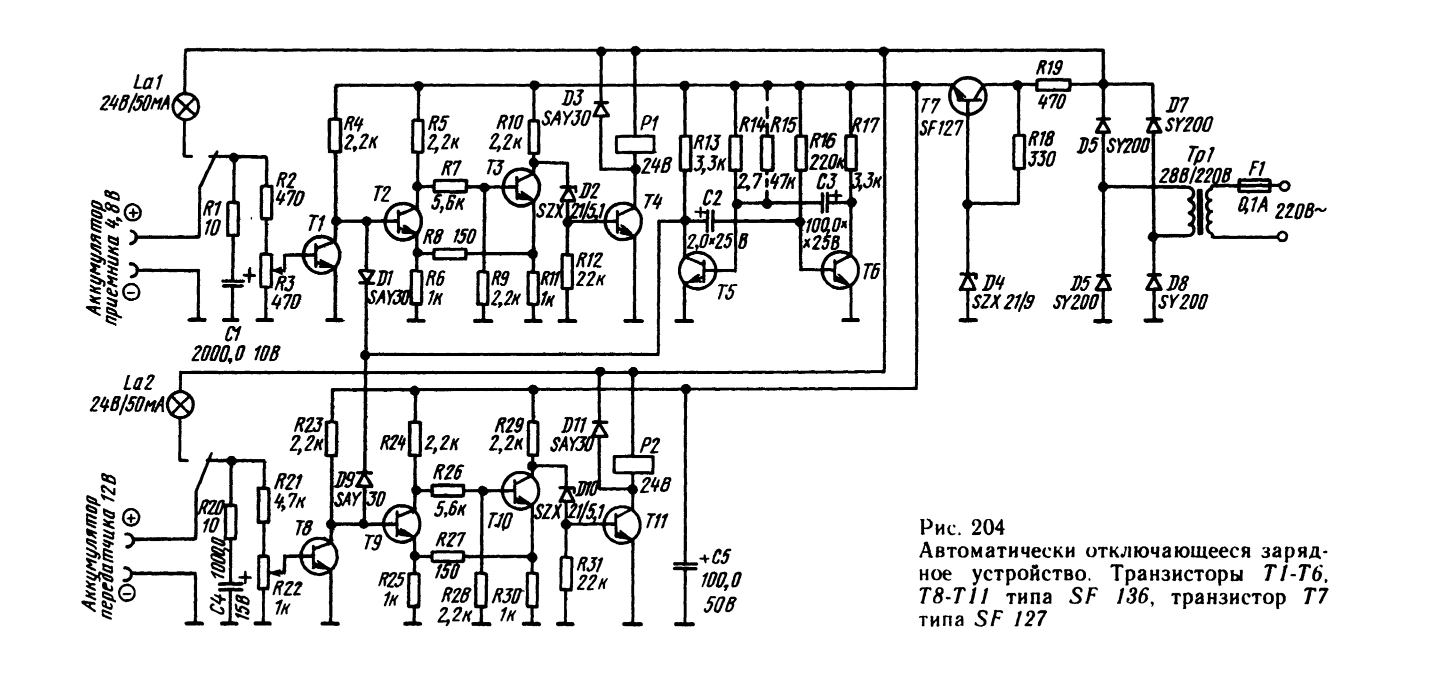


Рис. 204
Автоматически отключающееся зарядное устройство. Транзисторы *T1-T6*, *T8-T11* типа *SF 136*, транзистор *T7* типа *SF 127*

не может разрядиться слишком быстро через резистор *R1* или *R20*. Несущественным разрядом аккумуляторов через делители напряжения, включенные параллельно конденсаторам *C1* и *C4*, можно пренебречь. Благодаря этому довольно просто «автоматизирован» обычно сложный процесс, включающий в себя отключение никелево-кадмиевых аккумуляторов от зарядного устройства и измерение напряжения на зажимах под нагрузкой и который, кроме того, к концу процесса заряда должен повторяться чаще.

Собственно контроль состояния заряда (измерение напряжения на зажимах) производится триггером Шмитта, работающим в качестве порогового выключателя. Перед триггером установлен транзистор усилителя, повышающего чувствительность триггера и уменьшающего напряжение гистерезиса.

Во время кратковременной нагрузки аккумулятора через *RC*-цепочку на входной транзистор *T1* или *T8* через делитель напряжения *R2, R3* или *R21, R22* подается напряжение смещения. Если напряжение на зажимах нагруженного аккумулятора слишком мало, то пороговое напряжение триггера Шмитта не достигается и он остается в рабочем положении, т. е. реле остается в положении «Заряд». Триггер, входящий в схему рис. 204 имеет некоторые отличия в схеме и в номиналах схемных элементов. С помощью введения резисторов *R11* и *R30* напряжение гистерезиса триггера Шмитта намного снижено, благодаря чему (а также включенному перед ним транзистору усилителя) можно реализовать очень чувствительный пороговый выключатель, имеющий очень малый порог переключения (гистерезис). Чтобы не перегрузить процесс опрокидывания триггера Шмитта за счет слишком больших токов коллектора, реле *P1* и *P2* включены через дополнительные транзисторы *T4* и *T11* усилителей. Наведенные напряжения, появляющиеся при переключениях реле, способны привести к выходу из строя транзисторов переключателей. Поэтому предусмотрено замыкание накоротко пиков напряжения с помощью диодов *D3* и *D11*, включенных в обратном направлении.

Чтобы обеспечить возможность одновременного заряда аккумуляторов приемника и передатчика, предусмотрены две схемы нагрузки и два триггера Шмитта. Преимущества, получаемые при этом, оправдывают двойные затраты на схему.

Переключение с заряда на измерение происходит следующим образом. Автоколебательный мультивибратор, собранный на транзисторах *T5* и *T6*, генерирует импульсы длительностью 0,5 с с паузами между ними около 100 с. Управляющий импульс через диоды развязки *D1* и *D9* поступает на входы триггеров Шмитта.

Пусть произошел процесс

подключения аккумуляторов и начался процесс их заряда. Тогда через делитель напряжения *R2, R3* и транзистор *T1*, а также через делитель напряжения *R21, R22* и транзистор *T8* на входы триггеров Шмитта поступают такие напряжения, которые переводят их в рабочие состояния, т. е. транзисторы *T2* и *T4* открываются, а транзистор *T3* запирается. Транзисторы *T9, T10* и *T11* переходят в аналогичные состояния. В результате этого якоря обоих реле притягиваются и аккумуляторы заряжаются.

Затем короткий положительный импульс автоколебательного мультивибратора через диоды развязки переводит оба триггера Шмитта в состояние покоя, что приводит к запиранию транзисторов *T2, T4* и открыванию транзистора *T3*, а также к запиранию транзисторов *T9, T11* и открыванию транзистора *T10*. Якоря обоих реле отпускаются и производится измерение под нагрузкой через цепочки *R1, C1* и *R20, C4*.

Так как в течение паузы между импульсами, равной около 100 с, аккумуляторы еще не зарядились, триггеры Шмитта возвращаются в свои рабочие состояния. Этот процесс повторяется до тех пор, пока напряжение на зажимах не достигнет заданной величины. Тогда напряжение на входе транзистора *T1* или *T8* становится таким большим, что триггер Шмитта остается в своем состоянии покоя и якорь соответствующего реле больше не притягивается. Следовательно, каждый новый импульс автоколебательного мультивибратора не приводит к заряжанию аккумулятора.

Диоды развязки *D1* и *D9* предназначены, во-первых, для развязки входов обоих триггеров Шмитта таким образом, чтобы ни тот ни другой не оказывали влияния друг на друга, если, например, аккумулятор передатчика зарядится раньше, чем аккумулятор приемника. Во-вторых, диоды осуществляют развязку входов триггеров Шмитта от генератора тактовых импульсов, чтобы после прохождения управляющего импульса, поступившего не от автоколебательного мультивибратора, триггер Шмитта не возвратился в состояние «Заряд». В это состояние триггер переходит только тогда, когда через делитель входного напряжения и транзистор усилителя на вход триггера Шмитта поступает потенциал, величина которого ниже порогового напряжения. Следовательно, процесс заряда зависит лишь от зарядного напряжения, величина которого устанавливается резистором *R3* или *R22*.

Процессы заряда аккумуляторов передатчика и приемника на практике, как правило, имеют различные продолжительности. В этой схеме для оптической индикации и контроля процесса заряда также используются две лампы накаливания. Лампа горит до тех пор, пока заряжается соответствующий аккумулятор. В начале процесса заряда лампа периодически кратковременно

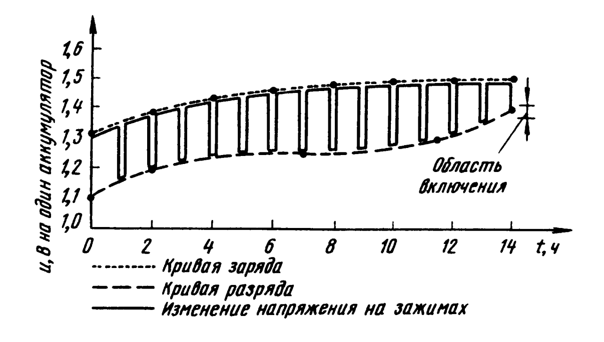


Рис. 205
Характеристика автоматически отключающегося зарядного устройства

гаснет, паузы в процессе заряда к его концу становятся все длиннее, а при его окончании лампа больше не загорается. Этот процесс представлен в виде характеристики этого зарядного устройства, показанной на рис. 205 (для наглядности соотношение длительностей импульсов и пауз между ними представлено не в масштабе).

Чтобы даже при изменяющемся входном напряжении зарядное устройство всегда отключалось точно при достижении необходимого напряжения на зажимах, для обоих измерительных плеч (собранных на транзисторах *T1—T3* и *T8—T10*) напряжение стабилизируется транзистором *T7* и стабилитроном *D4*.

Настройка зарядного устройства производится следующим образом. Аккумуляторы приемника и передатчика разряжают до напряжения 1,0 В на один аккумулятор (соответственно 4,0 и 10 В на батарею аккумуляторов). Затем их заряжают током $I_{10}=45$ мА в течение 14—15 ч, пока они под нагрузкой $(2 \cdot I_{10})$ не будут обладать напряжением на зажимах 1,4 В на один аккумулятор (соответственно 5,6 и 14 В на батарею аккумуляторов). Заряженные таким образом до полной емкости аккумуляторы устанавливают в зарядное устройство.

Время такта автоколебательного мультивибратора должно быть уменьшено. Этого достигают, подключая параллельно резистору *R17* резистор *R15* сопротивлением 47 кОм. Теперь якорь реле притягивается через значительно более короткие интервалы. Перед началом регулировки подстроечные резисторы *R3* и *R22* устанавливают на максимальное положительное напряжение. Если аккумуляторы подключены, то эти резисторы поворачивают в обратную сторону до тех пор, пока зарядное устройство больше не будет переключаться в положение «Заряд». Это можно видеть по выключению контрольной лампы. По окончании регулировки резистор *R15* снимают.

Для контроля регулировки производят заряд полностью разряженных аккумуляторов. При заряде током I_{10} зарядное устройство после работы в те-

чение 14—15 ч больше не должно переходить в режим заряда. При этом к концу процесса заряда контрольные лампы должны загораться со все большими паузами (до нескольких минут). Так как зарядное устройство автоматически отключается при достижении аккумулятором полной емкости, никелево-кадмиевые аккумуляторы могут оставаться подключенными к нему в течение длительного времени.

При уменьшении напряжения на зажимах аккумулятора ниже заданного значения процесс заряда автоматически возобновляется. Независимо от величины заряда аккумулятор можно на ночь устанавливать в зарядное устройство. Это дает гарантию всегда полной емкости очень дорогих никелево-кадмиевых аккумуляторов и обеспечивает максимальный срок их службы.

С помощью этого зарядного устройства несложно проверить состояние никелево-кадмиевых аккумуляторов. Если устройство не отключается более 18 ч, это является признаком неисправности аккумулятора. Контролируемый разряд током I_{10} позволяет сделать вывод о сохранении аккумулятором емкости. Если же при заряде полностью разряженного никелево-кадмиевого аккумулятора время заряда будет слишком коротким, то необходимо проверить отдельные аккумуляторы в батарее и заменить неисправные.

Таким образом, автоматически отключающееся зарядное устройство не только гарантирует всегда заряд до полной емкости, но и позволяет выявить неисправные аккумуляторы.

5.4.3. Автоматически отключающееся зарядное устройство, обеспечивающее неизменный ток заряда

Данное зарядное устройство (рис. 206) отличается тем, что для отключения в нем не используется реле. Состояние разряда контролируется посредством сравнения напряжения на зажимах при заряде с заданным выпрямленным напряжением. Для этого применен очень чувствительный пороговый выключатель с операционным усилителем типа *SN 72709 N (A 109 C)*.

Для того чтобы величина тока оставалась неизменной, предназначены транзистор *T1*, резисторы *R5*, *R6*, *R9* и диод *D3*. С помощью подстроечного резистора *R6* устройство можно отрегулировать на зарядный ток 45 мА. Прекращение заряда при достижении полной емкости аккумулятора производится следующим образом. В течение процесса заряда транзистор *T1* открыт, а транзистор *T2* заперт. Если транзистор *T2* открыт, то он накоротко замыкает диод *D3* и на базу транзистора *T1* подается потенциал эмиттера. Благодаря этому через транзистор *T1* может протекать только запирающий ток.

Теперь управление производит транзистор *T3*, а не *T2*. Если база транзистора *T3* положительна под воздействием сигнала с выхода логической

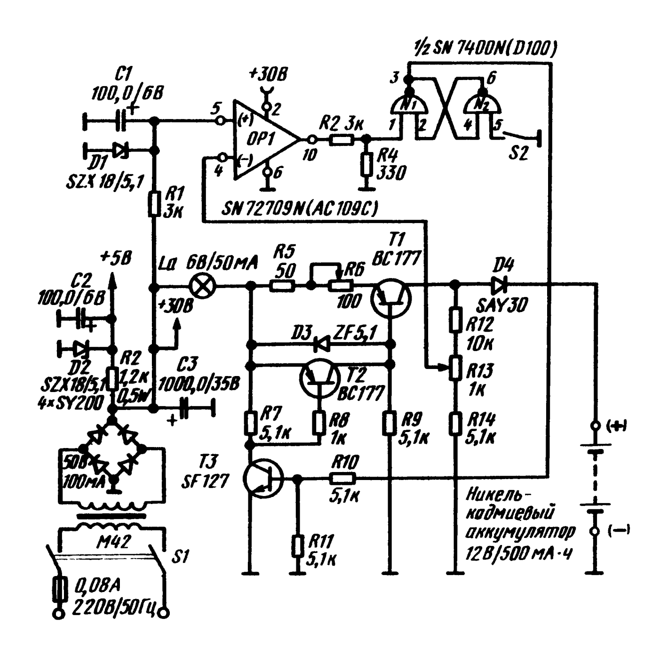


Рис. 206 Автоматически отключающееся зарядное устройство, обеспечивающее неизменный ток заряда

схемы *НЕ—И N1*, то этот транзистор открывается. При этом открывается и транзистор *T2*, а транзистор *T3* закрывается.

Для обеспечения надежной работы все транзисторы должны быть кремниевыми.

Операционный усилитель *OP1* работает с полным усилением при отсутствии нагрузки в качестве схемы сравнения (компаратора). В этой схеме разности напряжений между входами *4* и *5*, составляющей 0,5 мА, достаточно, чтобы на выходе вместо сигнала появился сигнал *H* и наоборот.

Опорное напряжение получают с помощью стабилитрона *D1* и резистора *R1*. С ним сравнивают полученное напряжение заряда. Сопротивление резистора *R13* изменяют так, чтобы при напряжении в конце заряда, равном 14,9 В, напряжения на входах *4* и *5* операционного усилителя *OP1* были одинаковыми. При дальнейшем увеличении напряжения на зажимах аккумулятора вместо сигнала *H* на выходе аккумулятора появляется сигнал *L*, а на выходе логической схемы *N1* вместо сигнала *L* появляется сигнал *H* и источник неизменного тока, собранный на транзисторе *T1*, запирается.

Логические схемы *N1* и *N2* образуют триггер, что необходимо, так как напряжение на зажимах никелево-кадмиевого аккумулятора после окончания процесса заряда уменьшается на величину падения напряжения на его внутреннем сопротивлении. Операционный усилитель очень чувствителен (0,5 мВ) и мог бы сразу вновь переключиться на заряд. Такие

переключения повторялись бы бесконечно, но триггер предотвращает этот процесс. Если напряжение на резисторах *R12*, *R13*, *R14* и, следовательно, на выходе *4* схемы *OP1* уменьшается, то сигнал *L* на выходе *10* этой схемы снова может измениться на *H*. Но триггер при этом не возвращается в свое исходное состояние (сигнал *L* на выходе *3* схемы *N1*), так как каждый последующий импульс не оказывает воздействия на вход *1* схемы *N1*. Триггер может быть возвращен в исходное положение только нажатием на кнопку *T*.

Рассмотренная схема предназначена для заряда аккумулятора передатчика 12 В/450 мА · ч и при изменении номиналов схемных элементов может быть использована для заряда аккумулятора приемника. Лампа *La1*, установленная в цепи зарядного тока, позволяет контролировать процесс заряда. Диод *D4* защищает электронную схему от действия обратного тока при выключении зарядного устройства. Для регулировки устройства к нему вместо никелево-кадмиевого аккумулятора подключают резистор сопротивлением 300 Ом. С помощью подстроечного резистора *R6* величину зарядного тока устанавливают равной 45 мА, а с помощью подстроечного резистора *R13* — напряжение в конце заряда 14,9 В (при 15 В лампа *La1* должна погаснуть). Подготовку устройства к работе производят нажатием кнопки *T*.

5.4.4. Автоматически отключающееся зарядное устройство с тиристором

По принципу описанного выше зарядного устройства работает и это устройство (рис. 207). Преимуществом его является значительно меньшее количество схемных элементов и использование тиристора, недостатком — меньшая точность переключения по сравнению со схемой, показанной на рис. 206.

Это зарядное устройство состоит из выпрямителя (тиристора) и источника стабилизированного опорного напряжения.

Стабилизированное опорное напряжение, получаемое с помощью стабилитрона *D2*, через транзисторы *T1* и *T2* управляет работой тиристора *D4*. Если

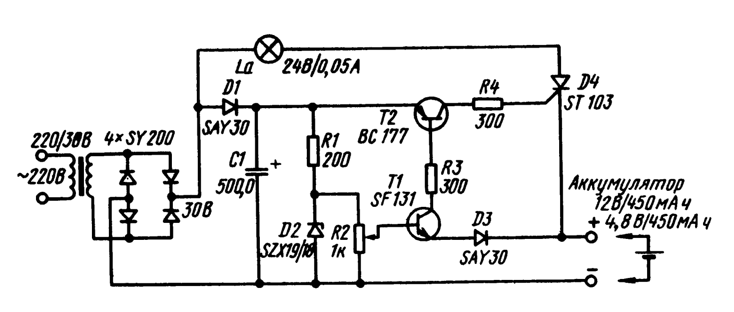


Рис. 207 Автоматически отключающееся зарядное устройство с тиристором

опорное напряжение выше напряжения на зажимах аккумулятора, то тиристор открывается через транзисторы *T1* и *T2* для зарядного тока. Если напряжение на зажимах аккумулятора возрастет до величины напряжения в конце заряда, то транзисторы *T1, T2* и тиристор запираются, поэтому процесс заряда прекращается. Величину напряжения отключения устанавливают с помощью подстроечного резистора *R2* при подключенном полностью заряженном аккумуляторе. Лампа *La1* играет роль балластного сопротивления и оптического индикатора процесса заряда.

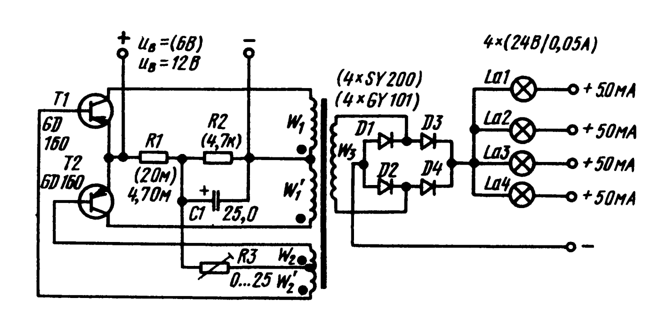
5.4.5. Зарядное устройство с питанием от автомобильного аккумулятора

Увеличение мощности передатчиков цифровой аппаратуры дистанционного управления приводит к уменьшению времени работы этих передатчиков. Продлить время работы можно с помощью аккумуляторов большой емкости, но этот путь неприемлем из-за неизбежного увеличения веса и размеров передатчика.

Время работы приемников также имеет тенденцию уменьшаться из-за стремления снизить массу модели. В настоящее время даже в двухканальных приемниках (для моделей планеров, яхт) применяют аккумуляторы емкостью 400 мА · ч. Но и тогда, когда моделист не стремится к повышению мощности передатчика и уменьшению размеров и массы аккумулятора приемника, при самом оптимальном расчете аппаратуры в отношении дальности действия, помехозащищенности и выходной мощности передатчика, время работы вряд ли превысит 5—6 ч.

В полевых условиях даже при наличии второго комплекта аккумуляторов часто возни-

Рис. 208
Зарядное устройство с питанием от автомобильного аккумулятора напряжением 12 В. При напряжении аккумулятора 6 В следует использовать схемные элементы, номиналы которых указаны в скобках. Обмотки трансформатора W_1 и W_1' имеют по 110 (65) витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,55 (0,75) мм. Обмотки W_2 и W_2' имеют по 18 (22) витков такого же провода диаметром 0,3 мм, обмотка W_3 имеет 220 (300) витков



кает проблема их заряда. Можно использовать аккумулятор автомобиля в качестве источника энергии. Но для никелево-кадмиевого аккумулятора зарядное напряжение должно в 1,5 раза превышать напряжение на зажимах. Поэтому при использовании 12-В автомобильного аккумулятора требуется преобразование напряжения.

Преобразователь для получения более высокого постоянного напряжения (рис. 208) представляет собой блокинг-генератор, собранный по двухтактной схеме. Транзисторы *T1* и *T2* работают в режиме переключения и генерируют переменное напряжение прямоугольной формы. С помощью соответствующего соотношения количества витков W_1 и W_3 это напряжение увеличивается до соответствующей величины и выпрямляется двухполупериодным выпрямителем (диоды *D1* — *D4*). Пользуясь подстроечным резистором *R3*, глубину обратной связи выбирают такой, чтобы колебания преобразователя не затухали даже под нагрузкой.

Преобразователь рассчитан на одновременный заряд четырех аккумуляторов (при напряжении на зажимах 1,2—12 В) и токе 50 мА (на каждый аккумулятор). Лампы накаливания *La1*—*La4* обеспечивают достаточную стабилизацию зарядного тока и предохраняют зарядное устройство от короткого замыкания. Номиналы схемных элементов, указанные на схеме, рассчитаны на использование автомобильного аккумулятора напряжением 6 или 12 В. Обмотки W_1 и W_2 выполнены бифилярным проводом. Необходимо обеспечить достаточное охлаждение транзисторов *T1* и *T2*.

18 Зак. 718

6. Конструирование аппаратуры дистанционного управления, практика работы с нею

6.1. Проблемы конструирования

Ниже рассмотрены конструкции некоторых образцов аппаратуры дистанционного управления моделями, хорошо зарекомендовавших себя на международных соревнованиях, в том числе образцов самодельной аппаратуры. Задачи, возникающие при конструировании исполнительных механизмов (сервомеханизмов, парусных лебедок и т. д.), были рассмотрены в разделе 3.

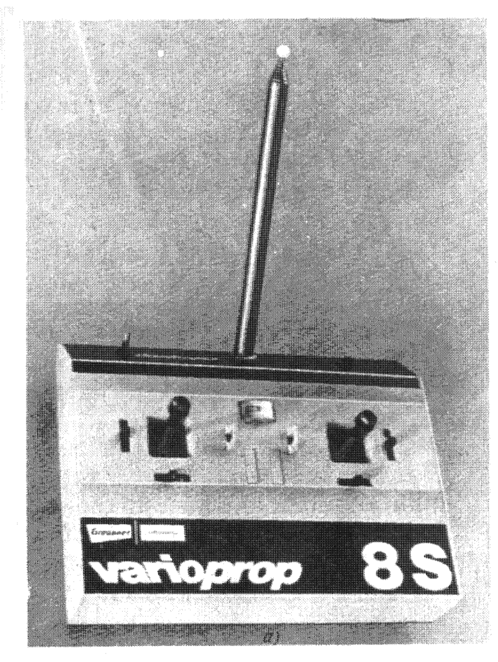
6.1.1. Конструкция передатчиков

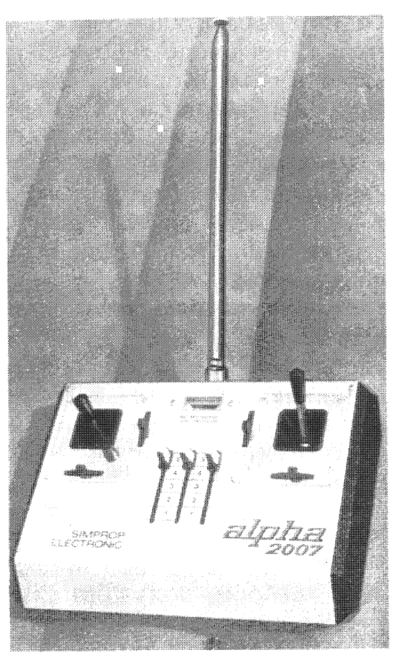
В настоящее время передатчики аппаратуры пропорционального дистанционного управления имеют размеры и массу,

Таблица 15

Характеристики передатчиков некоторых образцов аппаратуры дистанционного управления моделями

Тип	Габариты, мм	Масса, г	Антенна	
			длина, мм	положение относительно панели управления
Varioprop 8S	200×158×47	910	1430	Наклонное
Multiplex-Royal	210×175×50	1200	С *CLC*-катушкой	В шаровом шарнире
Simprop alpha 2007	190×152×60	900	1400	Наклонное
Microprop Hobby	187×170×55	850	1200	Вертикальное
Robbe FP-T4	190×140×55	1300	1340	Вертикальное
Rowan RPC 6C	180×165×50	1150	С *CLC*-катушкой	Вертикальное
Multiplex-Mini 2	135×175×50	600	С *CLC*-катушкой	Наклонное
Graupner Miniprop 4	155×90×50	190 (без батарей)	1080	Вертикальное
Start dp	202×173×85	1550	1100	Наклонное
Самодельный (рис. 210, *б*)	180×155×50	1100	1500	Вертикальное





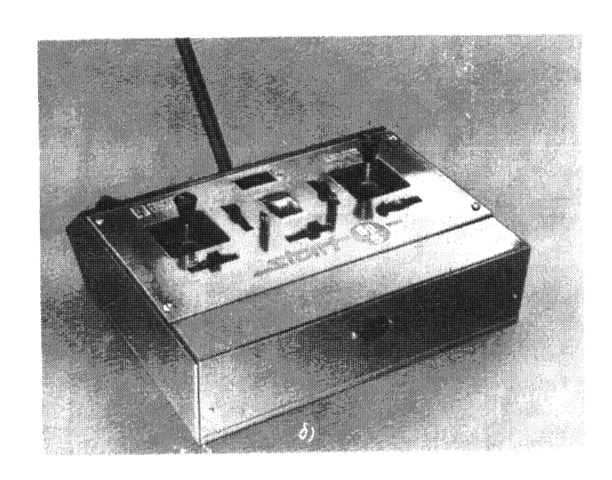


Рис. 209
Варианты корпусов передатчиков: *а* – **корпус из пластмассы (полистирола), аппаратура** *Varioprop 8S*; *б* – **корпус из листового материала, аппаратура** *Start dp*; *в* – **комбинированный корпус (боковые стенки из пластмассы), аппаратура** *Simprop alpha 2007*

позволяющие при управлении моделью держать их в руках (табл. 15). В среднем длина и ширина передатчиков составляют примерно 200 и 160 мм, толщина (высота) — около 50 мм. Высота определяется, главным образом, размерами манипуляторов и встроенного источника питания.

Применяемые обычно никелево-кадмиевые аккумуляторы

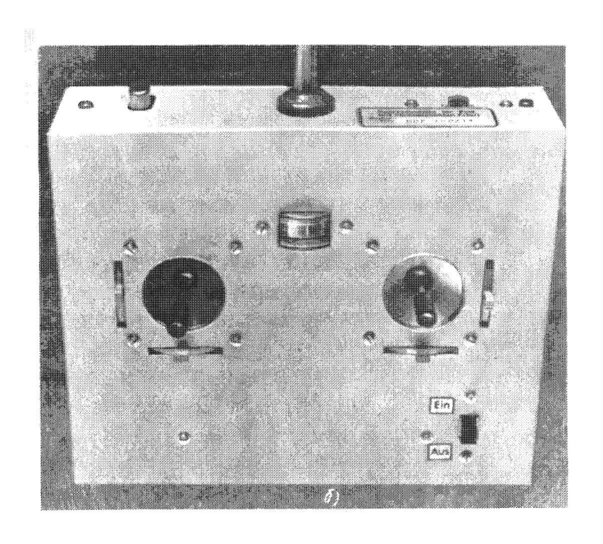
имеют массу 300—350 г, что составляет около трети массы передатчика. Корпус передатчика выполняют из пластмассы, полистирола (рис. 209, *а*), жести (рис. 209, *б*) или комбинированным (рис. 209, *в*). В последнем случае боковые стенки корпуса делают из пластмассы.

Корпус обычно имеет ящичную форму. Она особенно удобна для самодельных передатчиков, так как позволяет изготовить корпус простыми средствами. При этом корпус собирают из двух П-образных деталей, выполненных из листового материала (рис. 210). Усилив донный лист продольным ребром, получают жесткую ящичную конструкцию. Обе П-образные детали должны так плотно входить друг в друга, чтобы винты для их соединения были излишни.

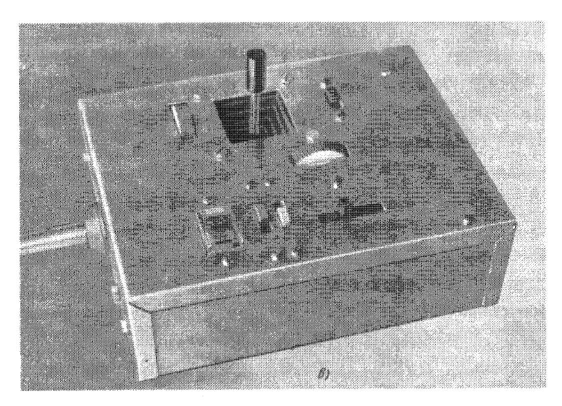
Для улучшения внешнего вида передатчик оклеивают искусственной кожей.

Антенну ввинчивают или вставляют в переднюю стенку передатчика. Однако при нормальной работе с передатчиком (верхняя стенка его примерно горизонтальна) излучение антенны имеет неблагоприятную поляризацию (рис. 211, *а*). Для получения необходимой сферической диаграммы направленности антенна должна быть установлена вертикально или почти вертикально. Но для этого передатчик приходится держать параллельно или с небольшим наклоном к корпусу, что не очень удобно (рис. 211, *б*). При дальностях действия до 500 м точностью поляризации антенн передатчика и приемника можно пренебречь. При дальностях, превышающих 500 м, передатчик необходимо поднимать выше, а антенну держать вертикально.

Рис. 210
Корпус передатчика, собираемый из П-образных деталей: *а* схема соединения деталей и чертеж панели управления четырехканального передатчика; *б* и *в* — внешний вид четырех- и двухканального передатчиков



б)



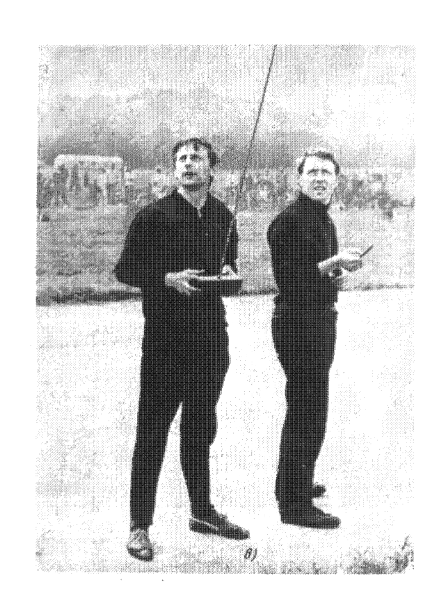
в)

На авто-, судо- и некоторые авиамодели для повышения чувствительности устанавливают вертикальные штыревые или вертикально натянутые проволочные антенны. Чтобы антенну передатчика установить также вертикально, переднюю стенку передатчика выполняют наклонной (см. рис. 209, *а*) и корпус принимает форму пульта. При такой конструкции антенна передатчика занимает наиболее благоприятное положение, обеспечивает требуемую сферическую характеристику направленности (рис. 211, *в*) и не представляет опасности для окружающих.

Панели управления почти у всех передатчиков имеют одинаковую конструкцию. Ручки управления расположены на ней справа и слева так, чтобы большими пальцами моделист мог полностью отклонять их во всех направлениях. Наиболее удобным является расположе-

Рис. 211
Работа с передатчиком *а* — держать удобно, неблагоприятная поляризация, *б* — держать неудобно, поляризация благоприятная; *в* — передатчик в форме пульта — держать удобно, поляризация благоприятная

ние ручек управления на расстоянии 45—50 мм от боковых кромок передатчика. Ручки



триммеров располагают под ручками управления и между ними (см. рис. 209, *б, в*), реже — снаружи их (см. рис. 209, *а*). Индикатор источника питания и излучения размещают выше ручек управления в середине панели управления, что обеспечивает удобство наблюдения за ним. Выключатель передатчика устанавливают в правом нижнем углу панели управления (см. рис. 209, *б*) или справа на передней стенке (см. рис. 209, *а*).

Для обеспечения смены каналов без вскрытия передатчика кварцевый резонатор устанавливают снаружи (рис. 212, *а*). К сожалению, не все промышленно выпускаемые передатчики устроены таким образом.

При большом количестве передатчиков одновременно работающих в полосе частот 27,12 МГц целесообразно отмечать на передатчике использу-

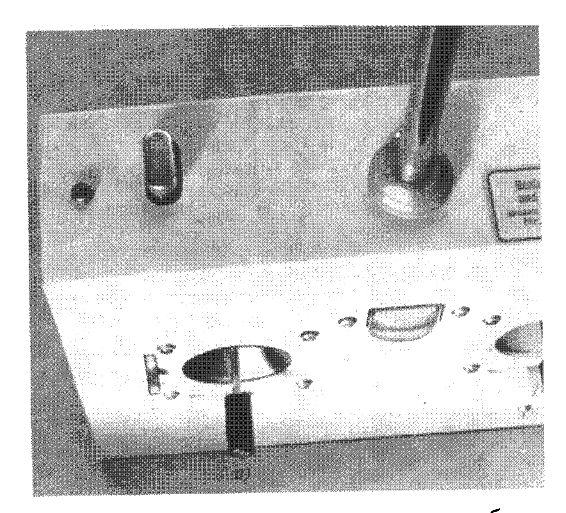


Рис. 212
Смена и обозначение каналов на передатчике: *а* — хорошо доступный снаружи кварцевый резонатор; *б* - обозначение канала с помощью вымпела на конце антенны

емый канал. Для этого удобно использовать подвижной цифровой указатель или бумажные ярлычки.

Существует еще один метод, позволяющий решить сразу две задачи. Каждому каналу (см. табл. 2) присвоен свой отличительный цвет. Для оповещения о номере выбранного канала на конце антенны закрепляют длинный вымпел из синтетической ткани, окрашенной в необходимый цвет. При управлении авиамоделями и парусными яхтами такие вымпелы дают также надежную информацию о направлении и силе ветра (рис. 212, *б*).

Облегчение процесса управления предъявляет к конструированию передатчика некоторые специальные требования. Чаще всего управление производят «с рук» с помощью коротких ручек управления. После некоторой тренировки можно научиться, манипулируя большими пальцами, точно контролировать состояние модели при использовании аппаратуры пропорционального управления (рис. 213, *а*). Но при длительном управлении наступают моменты, когда рукам нужно дать отдых. Поэтому целесообразно в центре тяжести передатчика закрепить ушко, с помощью которого передатчик можно подвесить к ремню, перебрасываемому через шею. Ремень предотвращает падение передатчика при случайном ослаблении рук.

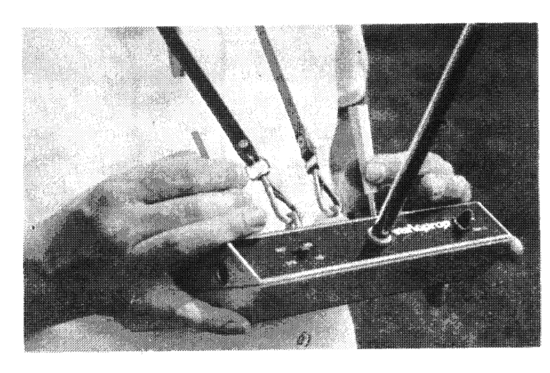


Рис. 213
Приемы работы с передатчиком: *а* — придерживание передатчика руками при использовании коротких ручек управления, *б* — работа с удлиненными ручками управления

При подвеске передатчика на ремне его можно оборудовать удлиненными ручками управления (рис. 213, *б*), позволяющими производить очень точное управление. Однако выбор длины этих ручек определяется в первую очередь привычками моделиста.

Наряду с расположением и конструкцией ручек управления важное значение имеет и распределение их по командам. В принципе не важно, какой ручкой подается та или иная команда. Назначение ручек определяется самим моделистом. Поэтому рассматриваемые ниже функции ручек управления следует рассматривать лишь в качестве возможных вариантов их назначения, хорошо зарекомендовавших себя на практике.

Простейшим случаем является подача одной ручкой команд только одного типа. Правой ручкой подают команды «Вправо-влево» на руль, левой — «Быстро-медленно» на двигатель. Для ускорения судомоделей удобнее отводить ручку вперед, для замедления — назад (рис. 214, *а*). Аналогично с помощью левой ручки можно управлять работой парусной лебедки, установленной на модели яхты: отклоняя ручку вперед, подают команду «Шкот травить», отклоняя назад,— «Шкот выбирать».

Для управляемых по двум

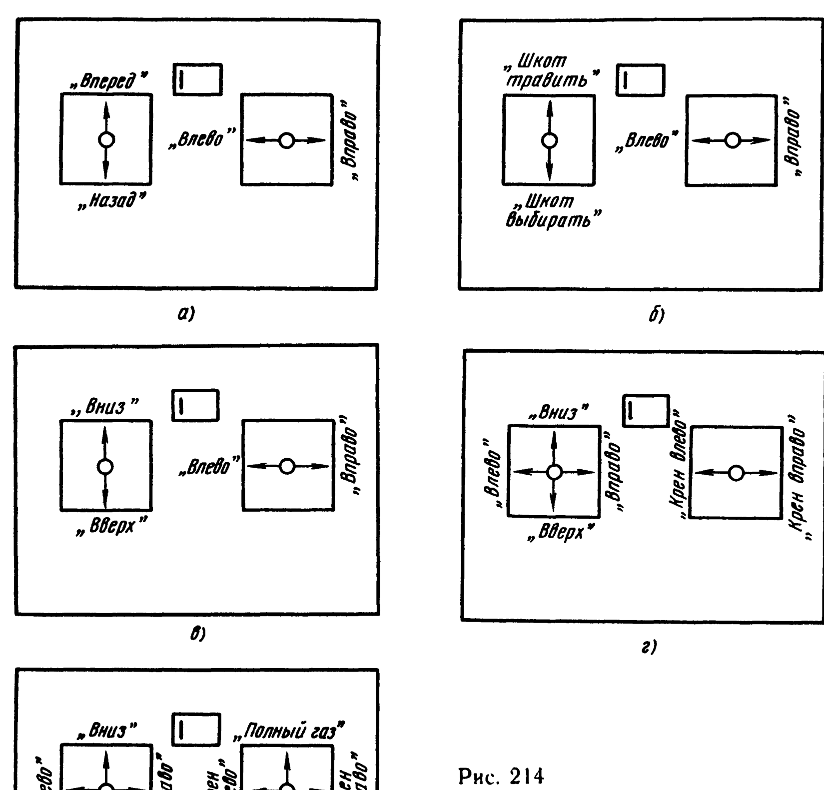


Рис. 214
Назначение ручек управления при дистанционном управлении различными моделями: *а* — судомодель с двигателем; *б* — парусная яхта; *в* — модель планера, управляемая по двум осям; *г* — модель планера, управляемая по трем осям; *д* — модель самолета, управляемая по трем осям

осям моделей планеров правой ручкой управляют рулем направления, т. е. осуществляют подачу команд «Вправо-влево», а левой — рулем высоты, подают команды «Вверх-вниз».

Если модель планера может изменять направление по трем осям, то левой ручкой управляют работой руля направления («Вправо-влево), а правой — работой элеронов («Крен вправо-влево»). Работой руля высоты, как и в предыдущем случае (рис. 214, *в*), управляют с помощью левой ручки (рис. 214, *г*). Это объясняется тем, что у моделей с элеронами руль направления необходим только для входа в вираж, а продолжается полет по кривой обычно только с помощью элеронов.

Для моделей самолетов.

управляемых по трем осям, правую ручку предназначают для управления положением дросселя (рис. 214, *д*). Отклонение этой ручки управления от себя приводит к подаче команды «Прибавить газ», отклонение к себе — «Убрать газ». Некоторые авиамоделисты меняют назначение ручек, указанное на рис. 214, *д*, на зеркальное ему, т. е. правой ручкой управляют работой рулей высоты и направления, а левой — работой элеронов и двигателя.

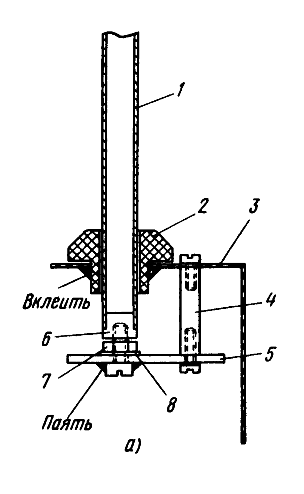
Иногда есть и пятый канал управления — для выпуска и убирания шасси.

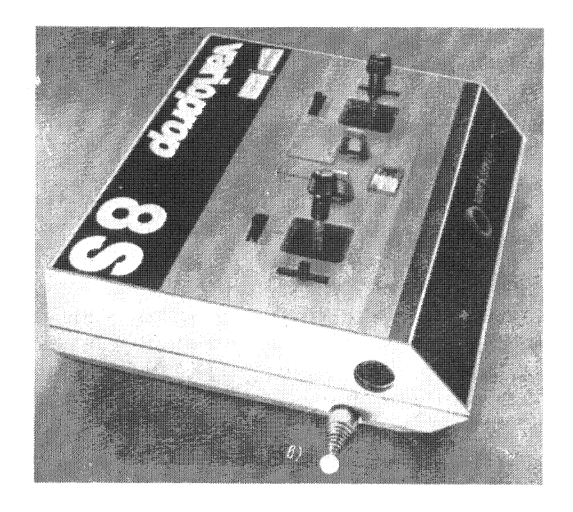
Укороченный ремень заменяет ручку для ношения передатчика. Если ремень на передатчике не предусмотрен, то ручку для ношения следует закрепить в удобном для этого месте передатчика. Переноска передатчика за ручку или за ремень предотвращает случайную перестановку рычагов триммеров. Особенно это важно для авиамоделей, так как расстройка каналов управления может привести к аварии модели.

При отсутствии на передатчике ручки и ремня нельзя для переноски использовать антенну. Люфт антенны в передатчике, ослабление резьбовых соединений и повреждение схемы, которые могут при этом возникнуть, приводят к блужданию модели. В лучшем случае это влечет за собой поломку или потерю модели.

Конструкция антенны передатчика требует к себе серьезного внимания. Как уже было сказано в разделе 4.2.1.4, наиболее выгодной для передатчика является длинная штыревая антенна. В продаже обычно имеются телескопические антенны, полная длина которых составляет 1,5 м. При такой антенне в точке ее крепления развиваются значительные изгибающие усилия. Следовательно, крепление антенны должно обеспечивать кроме надежного контакта также и механическую надежность. Работа с неполностью выдвинутой антенной, как это делается иногда у карманных и переносных радиоприемников, при дистанционном управлении не применяется. Штекерное закрепление антенны в передатчике, например, с помощью припайки к антенне штекера для соединения коаксильных проводов и установки в передатчике соответствующего гнезда, не оправдало себя. В 1975 г. было отмечено, что почти все без исключений антенны были ввинчивающимися.

Простое и очень надежное конструктивное решение ввинчивающейся антенны представлено на рис. 215, *а*. В основание антенны впаяна латунная втулка, имеющая внутреннюю резьбу М4. В корпусе передатчика предусмотрен изолирующий антенный ввод из поливинилхлорида, плексигласа или подобного им изоляционного материала. Плату схемы передатчика жестко крепят к его передней стенке через распорные втулки длиной 20—25 мм. Напротив антенного ввода на плате закрепляют гайкой и затем пропаивают латунный винт





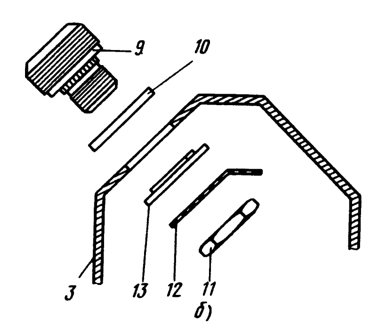


Рис. 215
Крепление антенны: *а* — резьбовое соединение; *б* — крепление с помощью коаксиального штекера; *в* — антенна в походном положении; *1* — штырь антенны, *2* ввод антенны, *3* — корпус передатчика, *4* — распорная втулка, *5* — плата, *6* — втулка с внутренней резьбой М4, *7* — гайка М4, *8* шайба, *9* — антенный цоколь, *10* — изолирующее кольцо, *11* — гайка, *12* — шайба с язычком для пайки, *13* — изолирующее кольцо с буртиком

(желательно серебреный) М4 длиной 15 мм.

Распорную втулку целесообразно установить ближе к антенному вводу, чтобы уменьшить изгибающие усилия, воздействующие на плату со стороны антенны. Далее массу каскада усилителя мощности (точку подключения на массу последнего конденсатора П-фильтра) соединяют с корпусом передатчика коротким проводником, имеющим большую проводимость. Роль этого проводника обычно играет средняя распорная втулка, выполняемая из латуни. Такое крепление антенны использовано в передатчиках, показанных на рис. 209, *а, б*.

Еще одним вариантом крепления антенны является ввинчивание ее в корпус с помощью резьбового коаксиального штекера (рис. 209, *в*). Такой штекер с накидной гайкой припаивают к штырю антенны, а коаксиальное гнездо через изолятор крепят на корпусе передатчика (рис. 215,*б*).

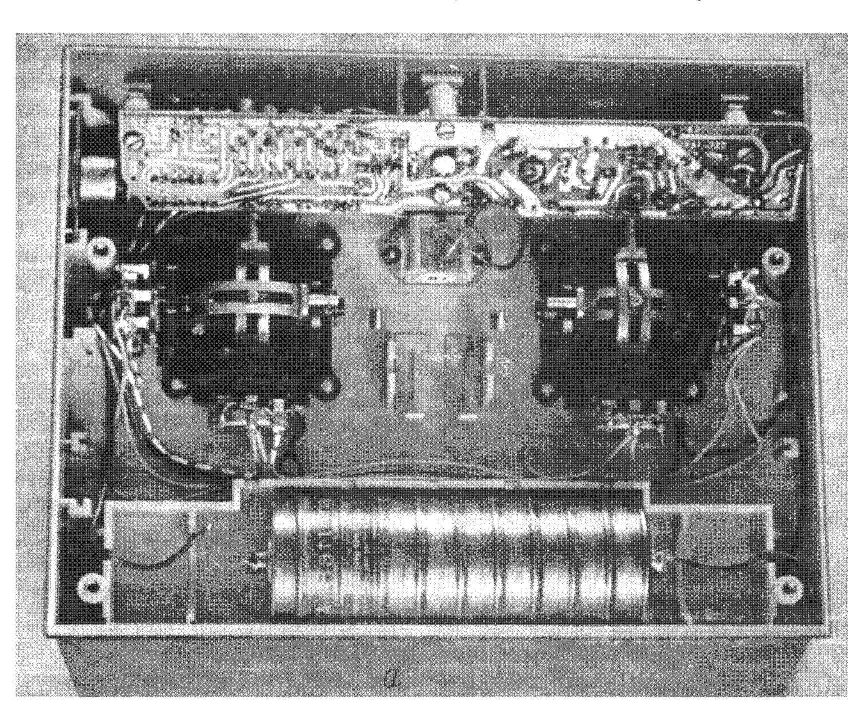
Возможны и другие решения, например, как в передатчике аппаратуры *Multiplex-Royal*, в

котором антенна закреплена в шаровом шарнире. Благодаря этому ее можно установить почти в любое положение и с одинаковым удобством работать как при удержании передатчика в руках, так и при подвешивании его на ремне.

В промышленных передатчиках предусмотрен специальный футляр в виде трубы, в который антенну убирают по окончании работы (рис. 215, *в*). Здесь она защищена от загрязнений и от повреждений. Правильный уход удлиняет срок службы антенны. Ее следует регулярно очищать от загрязнений и смазывать тонким слоем масла. Но так как смазка интенсивно собирает на себя пыль, ее слой оказывает истирающее воздействие на колена антенны при ее выдвигании или убирании. Поэтому по окончании работы антенну всегда следует предварительно протирать сухой тряпкой.

Не менее сложные проблемы возникают при конструировании внутреннего оформления передатчика. Здесь рассмотрены лишь некоторые из них, имеющие значение при конструировании современных передатчиков.

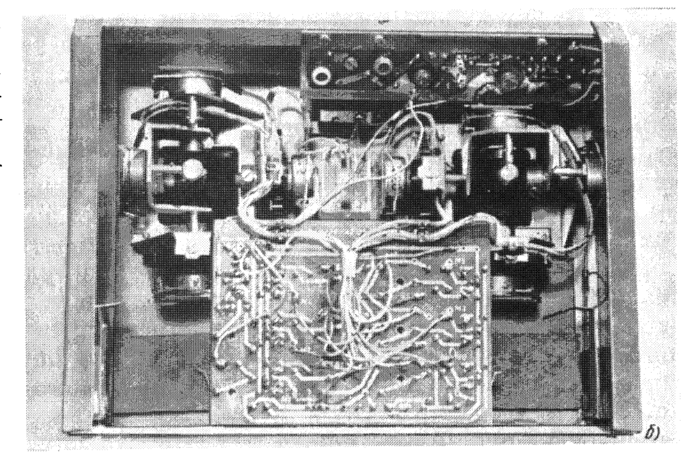
На рис. 216 показано внутреннее оформление трех передатчиков. Можно видеть, что расположение ручек управления и аккумуляторов у них одинаково. В промышленных передатчиках выключатель расположен на передней стен-

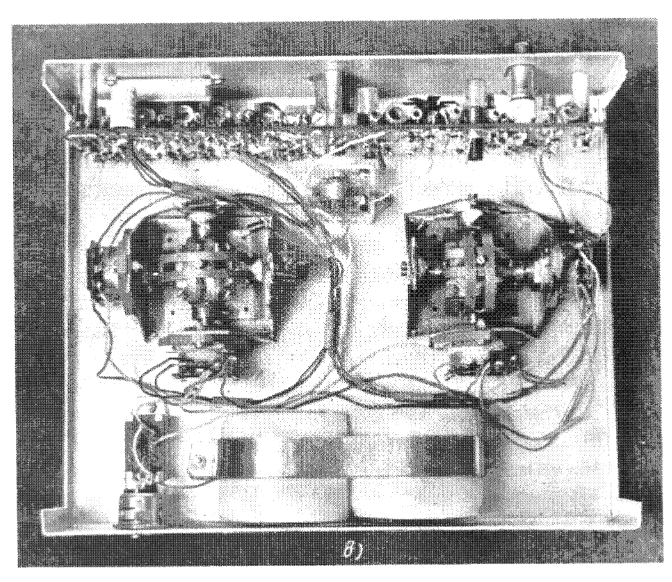

а

ке, а зарядная фишка — на правой (рис. 216, *а, б*). В самодельном передатчике выключатель установлен на верхней стенке, а зарядная фишка — на донной. Эти особенности определяются в основном конструкцией корпуса передатчика и распределением объема в нем.

Размещение платы может быть различным. В передатчиках, показанных на рис. 216, *а, в*, его определяет крепление антенны, которая привинчивается к плате. Такое расположение платы позволяет сделать очень коротким высокочастотный проводник, а также легко

Рис. 216
Внутреннее устройство передатчика: *а* — аппаратуры *Varioprop 8S*; *б* — аппаратуры *Start dp 5*; *в* — самодельного передатчика





и быстро менять каналы, заменяя кварцевые резонаторы через отверстие в передней стенке передатчика. Кроме того, обеспечен удобный доступ к контрольным точкам и к подстроечникам катушек для производства измерений и настройки.

В передатчике, показанном на рис. 216, *б*, высокочастотный и импульсный блоки собраны на отдельных платах. Антенны крепятся отдельно от плат, поэтому необходим достаточно длинный высокочастотный проводник. Это повышает потери, увеличивает склонность к самовозбуждению, но обеспечивает сохранность плат даже при неосторожном обращении с антенной. Разделение высокочастотного и импульсного блоков имеет также то преимущество, что при выходе из строя одного из них другой не требует ремонта или замены.

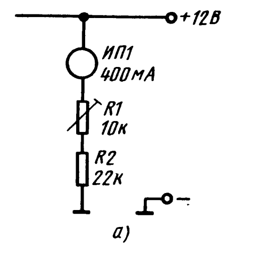
Объем передатчика позволяет разместить в нем зарядное устройство. На первый взгляд это показалось очень удобным. Но изготовители аппаратуры дистанционного управления вскоре отказались от этого. Дело в том, что никелево-кадмиевые аккумуляторы представляют собой почти идеальный источник напряжения для этой аппаратуры и при правильном уходе имеют очень большой срок службы. Необходимо только соблюдать правила заряда и предотвращать слишком большой разряд (см. раздел 5).

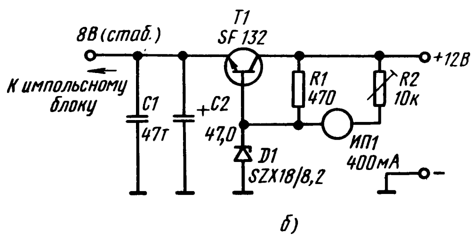
У передатчиков со встроенным зарядным устройством, как правило, фишку для контроля заряда не предусматривают, а имеющаяся фишка предназначена для подключения аккумулятора приемника. Оба аккумулятора при заряде соединены последовательно, но поскольку они почти никогда не находятся в одинаковых состояниях заряда, то или один из аккумуляторов будет перезаряжен, или другой недозаряжен.

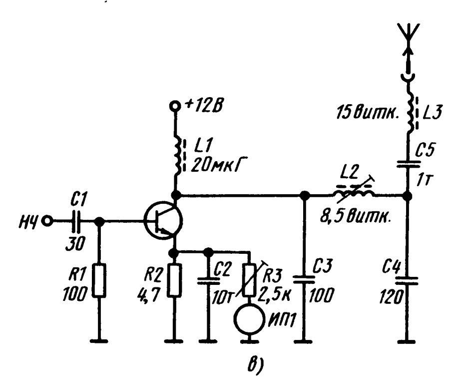
Надежнее заряжать аккумуляторы отдельно друг от друга с помощью зарядного устройства, имеющего два выхода примерно на 50 мА. Используя зарядную фишку на передатчике, можно простым способом контролировать состояние заряда аккумулятора. В некоторых случаях фишка обеспечивает дополнительное преимущество при обучении начинающих радиомоделистов, о чем будет сказано в разделе 6. 2.

Иногда забывают выключить передатчик после окончания управления моделью, что может привести к выходу из строя транзистора оконечного каскада или в лучшем случае аккумулятора. Необходимо выработать привычку в конце каждого дня, связанного с управлением моделью, проверять состояние заряда аккумуляторов передатчика и приемника, при необходимости подзаряжать их.

Почти все современные цифровые передатчики оборудованы встроенными индикаторами. Они обеспечивают визуальный контроль состояния заряда аккумулятора, а иногда интенсивности высокочастотного излучения передатчика. Удобнее всего использовать для







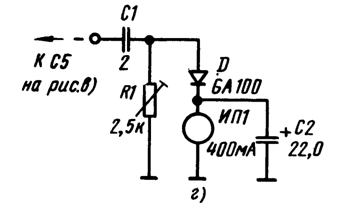


Рис. 217
Варианты схем встроенного измерительного прибора: *а* — для контроля напряжения питания; *б* — для контроля напряжения питания при растянутой шкале измерения, *в*—для косвенного контроля излучения высокой частоты, *г* — для непосредственного контроля излучения высокой частоты

этого индикаторы с профилированными стеклами, как в бытовой радиоаппаратуре, а в простейшем случае небольшой магнитоэлектрический измерительный прибор, играющий роль вольтметра для измерения напряжения питания (рис. 217, *а*).

С помощью подстроечного резистора *R1* стрелку прибора устанавливают на полное отклонение при полностью заряженном аккумуляторе или при новых сухих элементах. При применении никелево-кадмиевых аккумуляторов реализовать эту схему сложно. Так как используется вся шкала индикатора, при небольшом снижении напряжения никелево-кадмиевого аккумулятора стрелка отклоняется незначительно. Относительно стабильное напряжение на их зажимах обусловливает очень малое отклонение стрелки индикатора при разряде аккумуляторов, что создает определенную опасность. Заметное отклонение стрелки происходит только при исчерпании емкости этих аккумуляторов.

Иное дело — угольно-цинковые элементы, которые считаются разряженными только при уменьшении их напряжения на треть от номинального напряжения. Поэтому при разряде таких элементов стрелка отклоняется на заметный угол. Примером применения этого варианта схемы является передатчик *Mini 2* (см. рис. 42), в котором для питания используются угольно-цинковые сухие элементы.

Для улучшения индикации

разряда никелево-кадмиевых аккумуляторов используют принцип растягивания диапазона измерения. Стабилитрон, предназначенный в импульсном блоке передатчика для стабилизации напряжения, служит одновременно и для растягивания диапазона измерения (рис. 217, *б*). Напряжение на индикаторе U_M уменьшается на напряжение на стабилитроне U_Z, т. е. определяется формулой:

$$U_M = U_B - U_Z, \qquad (81)$$

где U_B — напряжение питания.

Так как напряжение на зажимах никелево-кадмиевого аккумулятора изменяется от 13 до 11 В, то при $U_Z = 8{,}2$ В напряжение на индикаторе изменяется от 2,8 до 4,8 В. При возрастающем разряде аккумулятора стрелка будет отклоняться довольно значительно. При напряжении питания 13 В стрелка имеет полное отклонение, а при понижении его до 11 В, что соответствует примерно 10%-ной емкости, стрелка медленно переходит на левую половину шкалы. Когда стрелка отклоняется в середину шкалы, необходимо выключить передатчик и дозарядить аккумулятор.

С помощью подстроечного резистора *R2* при полностью заряженном аккумуляторе можно установить стрелку на полное отклонение, как это, например, сделано в передатчике *Multiplex-Royal* (см. рис. 40).

Эта схема позволяет очень точно оценить состояние заряда аккумулятора.

Дополнительное удобство обеспечивается, если индикатор состояния заряда аккумулятора показывает также интенсивность высокочастотного излучения. Это можно сделать с помощью схемы, показанной на рис. 217, *в*. Ток эмиттера транзистора в оконечном каскаде усиления высокой частоты является мерой мощности высокой частоты, усиливаемой в его коллекторной цепи. По эмиттерному току измерительный прибор фиксирует падение напряжения на резисторе в цепи эмиттера.

После настройки оконечного каскада стрелку индикатора можно установить на полное отклонение с помощью подстроечного резистора. Это делают при ввинченной или полностью выдвинутой антенне, т. е. под нагрузкой. При работе оконечного каскада без антенны источник напряжения работает практически без нагрузки, и стрелка будет отклоняться, хотя высокочастотное излучение передатчика отсутствует. Поэтому измерительный прибор лишь условно можно использовать для настройки оконечного каскада усиления высокой частоты на максимальную мощность.

Конкретный вывод о мощности излучаемой высокой частоты помогает сделать измеритель напряженности поля (рис. 140), с помощью которого можно также производить настройку оконечного каскада и антенны. Так как при уменьшении напряжения питания снижается мощность высокой частоты, усиливаемая оконечным каска-

дом, измерительным прибором можно контролировать и мощность высокой частоты, и состояние заряда аккумулятора. Такое измерение осуществлено, например, в самодельном передатчике, схема которого представлена на рис. 135.

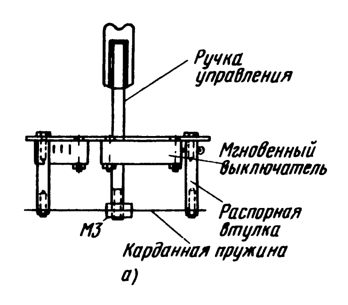
Мощность высокой частоты можно измерить также непосредственно на антенном вводе, как это сделано, например, в высокочастотных блоках передатчиков, показанных на рис. 114 и 132. Часть высокочастотной энергии отбирается конденсатором связи *C1* (рис. 217, *г*) и выпрямляется диодом *D1*. Подстроечный резистор *R1* позволяет настроить измерительный прибор на полное отклонение. Для предотвращения излишнего отбора высокочастотной энергии емкость конденсатора *C1* должна быть выбрана такой, чтобы стрелка измерительного прибора отклонялась полностью. Здесь справедливы указания относительно индикации показаний с антенной и без нее, а также использования индикатора для настройки оконечного каскада, которые перечислены применительно к рис. 217, *в*.

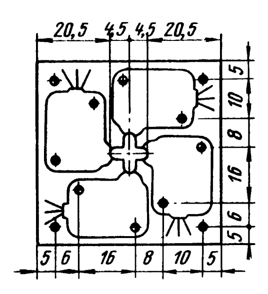
Этот вариант схемы применяется, правда, еще очень редко, так как каждый милливатт мощности высокой частоты представляет определенную ценность. Наивыгоднейшим является вариант схемы, представленной на рис. 217, *в*, так как здесь производится измерение тока эмиттера, а мощность высокой частоты полностью подается на антенну.

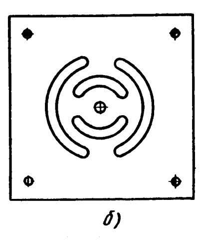
В самодельных передатчиках работы, связанные с установкой ручек управления, составляют значительную часть всех работ. Стоимость механизмов ручек управления в промышленных передатчиках составляет 25—30% стоимости всего передатчика. В процессе совершенствования аппаратуры дистанционного управления было разработано много конструкций ручек управления.

Простейшим вариантом подачи команды в передатчиках дискретного управления является кнопка (звонковая). Ее может оказаться вполне достаточно для первых опытов с простой аппаратурой дискретного дистанционного управления, необходимо лишь обеспечить максимальную возможность контакта при нажатии кнопки.

Несколько более удобной для передатчиков дискретного управления является кнюппельная конструкция. Ручку управления такой конструкции (рис. 218), рассчитанную на подачу дискретных команд по четырем каналам можно изготовить относительно просто. Крестообразная направляющая дает возможность подать ручкой всегда только одну команду. На основании установлены четыре мгновенных выключателя — по одному на канал. Ручка управления закреплена гайками на карданной пружине, выполненной из пружинной латуни толщиной 0,5 мм. Карданная пружина в свою очередь связана с основанием с помощью распорных втулок







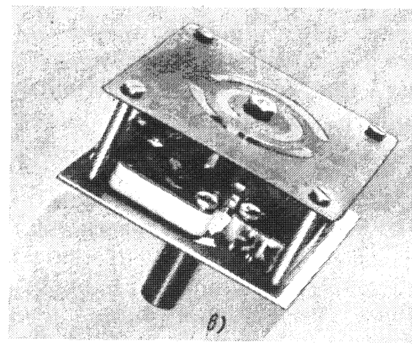


Рис. 218
Конструкция механизма ручки управления для подачи дискретных команд по четырем каналам: *а* — конструкция ручки; *б* — основание и карданная пружина, *в* — внешний вид

высотой 20 мм. После подачи команды освобожденная ручка возвращается в среднее положение под воздействием упругих сил карданной пружины и пружины мгновенного выключателя. Эта конструкция отличается точностью работы и малой высотой.

Значительно более сложны конструкции ручек управления для передатчиков пропорционального управления. Здесь необходимо одновременно, но независимо друг от друга перемещать ползуны двух потенциометров. Только в этом случае можно двумя руками подавать пропорциональные команды по четырем каналам, что требуется, например, при управлении радиоуправляемой моделью самолета. Но если при управлении двумя руками достаточно только двух пропорциональных команд, то конструкция ручек будет значительно более простой.

Ручка управления должна быть выполнена механически точно, не иметь люфтов и размещаться внутри передатчика, чтобы пыль и вода не могли проникнуть в нее.

Для управления некоторыми моделями достаточно двух пропорциональных каналов, к таким моделям относятся судомодели, управляемые по двум осям модели планеров, и т. д. Выпускаемые промышленностью двухканальные передатчики пропорционального управления имеют две ручки, в большинстве случаев правая из них предназначена для подачи команд «Вправо-влево», а левая — «Вверх-вниз» или

«Быстрее-медленнее». Конструкция ручек управления таких передатчиков может быть достаточно простой.

В отдельных случаях для подстройки руля в нулевое положение предусматривают второй потенциометр сопротивлением 1 или 2,5 кОм, включенный последовательно с канальным потенциометром сопротивлением 5 кОм (см. рис. 38). Тогда ручку управления можно закрепить непосредственно на оси канального потенциометра. Подстроечный потенциометр (триммер) целесообразно снабдить рифленой короткой ручкой.

Необходимо пояснить подробнее понятие «подстройка руля в нулевое положение». С ее помощью добиваются того, чтобы при нейтральном положении ручки управления модель также находилась в нейтральном состоянии. Конечно, это можно сделать подстройкой исполнительных механизмов на модели. Но иногда подстройку необходимо осуществить уже в процессе управления моделью. Поэтому при разработке передатчика предусматривают возможность такой подстройки, независимой от канального потенциометра.

В принципе существует три конструктивных решения ручек управления, предназначенных для подачи пропорциональных команд по двум каналам: первое — оба потенциометра установлены на одной уголковой детали, второе — ручка управления имеет связь с потенциометрами через карданный шарнир, третье — эта связь осуществлена с помощью шарового шарнира.

Усовершенствование серво-электроники (см. раздел 3) и связанная с этим высокая точность отработки команд, составляющая примерно 1%, привели к повышению требований к точности и отсутствию люфтов в механизмах ручек управления. Ручки с карданным и с шаровым шарнирами не должны требовать больших усилий при отклонении, но и не иметь при этом люфтов. Но при частом использовании ручек их износ приводит к появлению люфтов величиной 0,1—0,2 мм, что для авиамоделиста слишком много.

Чтобы исключить этот механический люфт, в последнее время снова возвратились к первому решению — «открытым» конструкциям механизмов ручек управления (рис. 219). В этой конструкции канальный потенциометр *1* закреплен неподвижно, а корпус канального потенциометра *2* через угольник жестко связан с осью потенциометра *1*. Ручка управления посажена на ось потенциометра *2* точно в точке пересечения осей обоих потенциометров. При воздействии на потенциометр *1* потенциометр *2* поворачивается вокруг оси первого потенциометра. Все люфты, в том числе люфт оси потенциометра *2*, предотвращаются с помощью установки фигурной детали, соединяющей оси обоих потенциометров с ручкой управления. Благодаря этому можно получить очень большую точность управления, отвечающую са-

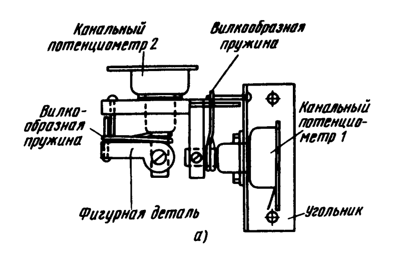
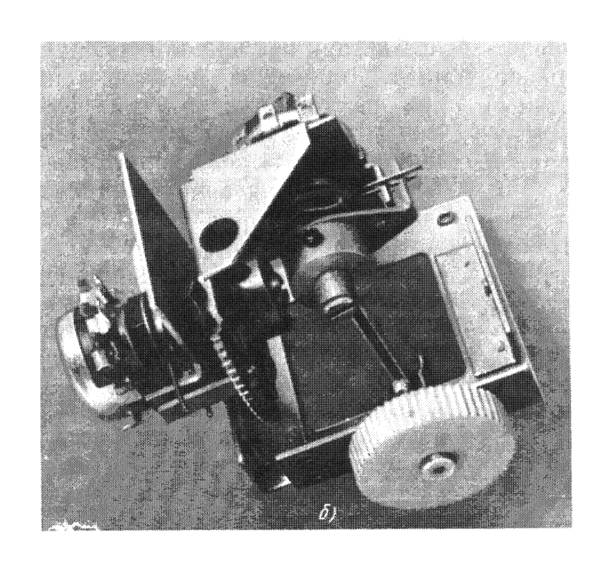


Рис. 219
Конструкция открытого механизма ручки пропорционального управления: *а* — чертеж; *б* — механизм ручки управления для передатчика аппаратуры *Digitron*



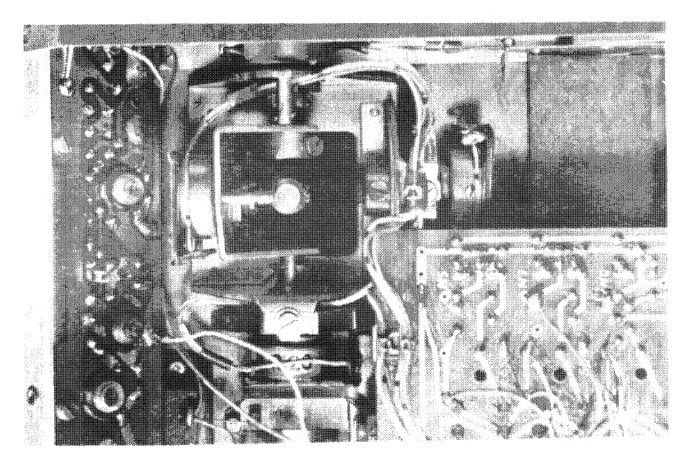


Рис. 220
Механизм ручки пропорционального управления в передатчике *Start dr 5*

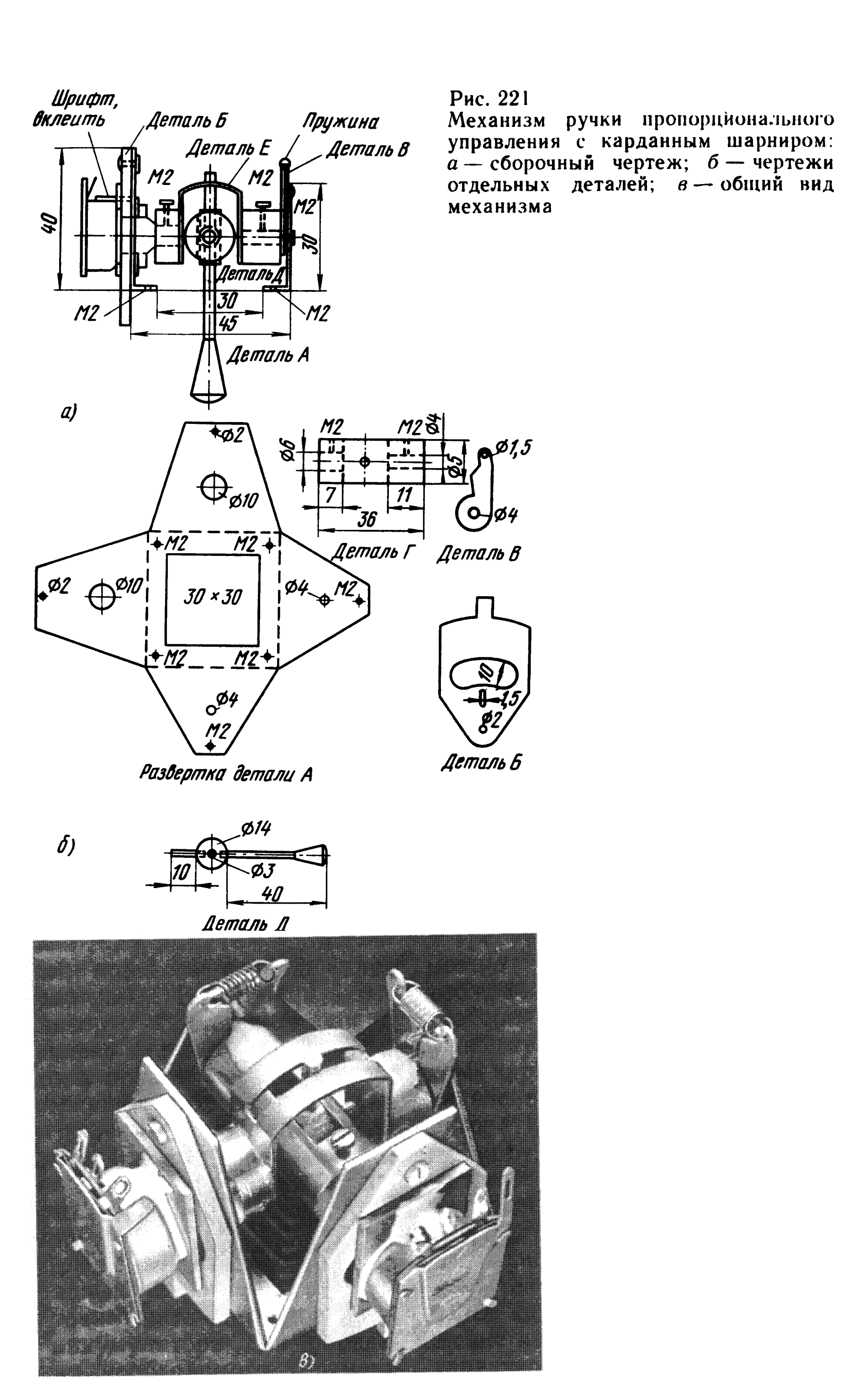


Рис. 221
Механизм ручки пропорционального управления с карданным шарниром: *а* — сборочный чертеж; *б* — чертежи отдельных деталей; *в* — общий вид механизма

мым высоким требованиям. В нейтральное положение ручка управления возвращается вилкообразными пружинами, закрепленными на осях потенциометров.

Недостатком этой конструкции является то, что для подстройки в нулевое положение необходим второй потенциометр для каждого канала, механизм ручки управления открыт снаружи и не защищен от попадания пыли и воды. Поэтому он и получил название «открытый». Правда со стороны верхней стенки передатчика механизм можно закрыть соответствующей резиновой манжетой, но она будет влиять на положение ручки, чего следует избегать. На рис. 220 показана такая установка механизма ручки управления в передатчике, которая позволяет сохранить точность механизма и предохраняет передатчик от пыли и влаги.

Высокая точность требуется при изготовлении ручки управления с карданным шарниром (рис. 221). Ручки подобной конструкции до 1973 г. устанавливались в передатчики *Varioprop*. Затем они были упрощены для облегчения подстройки.

Весь механизм крепится на основании, изготовленном из стального или алюминиевого листа толщиной 0,5—1 мм. По развертке, показанной на рис. 221,*а* (деталь *А*), вырезают заготовку основания и затем отгибают боковые стенки. Разметку отверстий и выреза можно производить только после отгибания стенок.

Ручка управления фиксируется в нейтральном положении двумя подпружиненными рычагами (деталь *В*). Преимуществами такого решения является простота наладки механизма, а также устранение нейтрализации ручки управления с помощью удаления пружин. За счет выбора пружин соответствующей жесткости можно добиться необходимого сопротивления ручки управления при ее отклонении.

Карданный шарнир (детали *Г* и *Д*) и кулисная скоба (деталь *Е*) могут быть выполнены из латуни, стали или алюминия. Детали склеивают между собой с помощью синтетических смол. Иногда механизм снабжают подстроечным рычагом (деталь *Б*).

Подстройку в нулевое положение можно производить с помощью второго потенциометра, но от этого решения со временем отказались. В настоящее время для подстройки и подачи команд пользуются одним потенциометром. Подачу команды осуществляют поворотом оси потенциометра, а подстройку — поворотом его корпуса. Но при этом необходимо обращать внимание на смещение оси и корпуса потенциометра относительно друг друга.

Если модель слегка уводит влево, то для возвращения ее на прямой курс ручку управления пришлось бы постоянно отклонять вправо. В этом случае курс модели должен быть скорректирован с помощью устройства подстройки на передатчике. Однако если пово-

ротом корпуса потенциометра необходимо получить такое же изменение сопротивления и в том же направлении, как и ручкой управления, то корпус должен быть повернут на такой же угол, как и ось, но в противоположном направлении. В данном случае это означает, что поворот подстроечного рычага вправо должен быть преобразован в поворот корпуса потенциометра влево.

Это реализовано следующим образом. Подстроечный рычаг (деталь *Б*) может поворачиваться на оси, роль которой играет винт М2, примерно на угол ±30°. В фигурную прорезь этого рычага проходит нарезанная часть корпуса потенциометра. Так как потенциометр может поворачиваться в отверстии диаметром 10 мм, просверленном в основании (деталь *А*), подстроечный рычаг имеет возможность качаться в зазоре между корпусом потенциометра и основанием. К корпусу потенциометра приклеен кусочек иглы длиной 1,5 мм, входящий в прорезь на рычаге. Для лучшего прилегания к поверхности рычага и надежного крепления иглы на корпус потенциометра наклеивают также кусочек гетинакса. При наладке механизма проверяют плавность поворота потенциометра.

Квадратное отверстие в основании закрывают резиновой манжетой, которую можно вырезать из велосипедной камеры или склеить из кусков определенной формы. Подобный, но более точный механизм ручек управления показан на рис. 222.

Если хвостовик ручки управления ввести не в карданный, а в шаровой шарнир, то кулисная скоба необходима и для другого потенциометра. Таки-

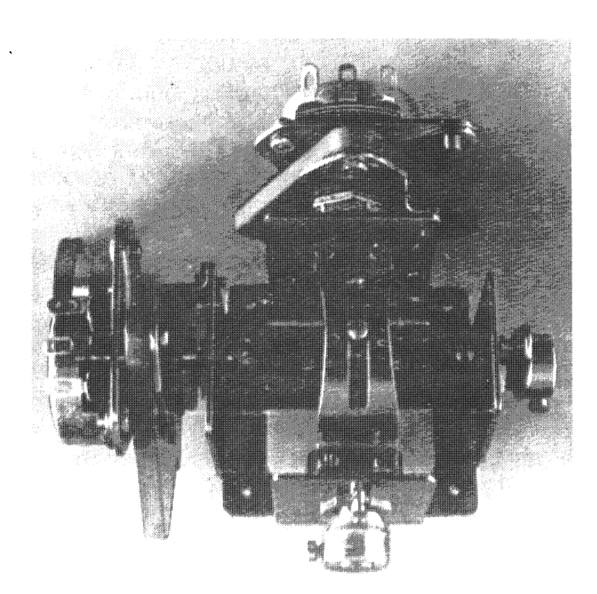


Рис. 222
Механизм ручки пропорционального управления с карданным шарниром

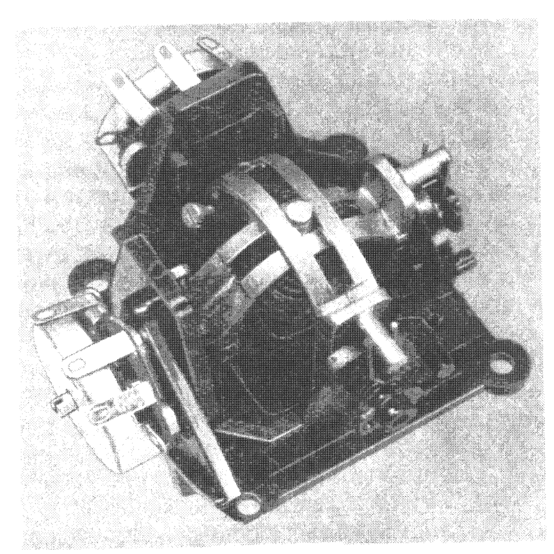


Рис. 223
Механизм ручки пропорционального управления с шаровым шарниром (передатчик *Varioprop 8S*)

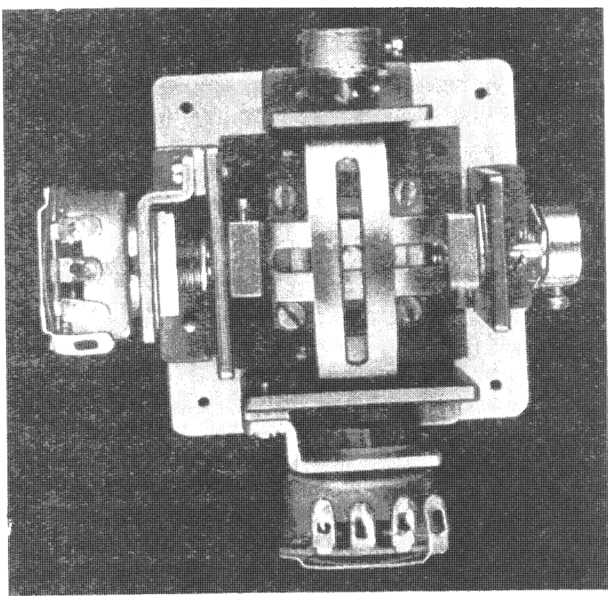


Рис. 224
Механизм ручки пропорционального управления с шаровым шарниром

ми ручками управления оснащаются в настоящее время большинство выпускаемых промышленностью передатчиков (рис. 223). При точном изготовлении механизм обладает большой чувствительностью к отклонениям ручки, так как на нее не оказывает влияния резиновая манжета.

Использование для этого механизма деталей, литых под

давлением и выполненных из металла или пластмассы, обеспечивает простоту сборки. Самостоятельное изготовление механизма ручки управления с шаровым шарниром довольно сложно. По сравнению с механизмом, показанным на рис. 221, шаровой шарнир требует повышенной точности дополнительных механических работ.

При изготовлении механизма, представленного на рис. 224, отожженный шарик от шарикоподшипника уложен в пластмассовую полусферу, опирающуюся на призматическое основание шарового шарнира. В остальном конструкция подобна конструкции механизма, показанной на рис. 221.

6.1.2. Конструкция приемников

Развитие приемников аппаратуры дистанционного управления со всей очевидностью показывает тенденцию к их уменьшению и облегчению. Но одновременно современные приемники должны отвечать жестким требованиям работы на модели (вибрации, вызываемые двигателем, падения и т. д.). Необходимая вибропрочность может быть достигнута только за счет применения высококачественных резисторов, конденсаторов и полосовых фильтров, а также специальных методов сборки.

Платы толщиной 1—1,5 мм изготовляют из обладающей высокой прочностью полиэфирной смолы, армированной стекловолокном. При ограниченности места схемные элементы размещают на плате вертикально, что создает опасность повреждения резисторов и конденсаторов. Поэтому их часто фиксируют заливочным компаундом. Хорошо зарекомендовал себя для этого неприклеивающийся, затвердевающий без подогрева силиконовый каучук. Его наносят поверх схемных элементов. При ремонте он может быть легко снят с них.

В цифровой аппаратуре супергетеродинный приемник и декодирующее устройство собирают обычно на одной плате (рис. 165). Но приемник меньшего объема получают при сборке их на отдельных платах (рис. 225, *а*). Такой способ сборки особенно удобен для ремонта, так как при необходимости платы можно заменять. На рис. 225, *б* видно каким малогабаритным можно сделать в этом случае приемник. Сборку приемника, показанного на рис. 165, также можно выполнить на двух платах, но на второй из них собирают сервоусилитель.

Дальнейшее снижение размеров приемника получают за счет применения интегральных схем, особенно в схемах декодирующих устройств. Интегральные схемы позволяют несколько уменьшить плотность монтажа, что облегчает проверку и ремонт плат, а также дает возможность размещать гнезда для подключения сервомеханизмов непосредственно на платах. Такая установка гнезд повышает надежность работы приемника.

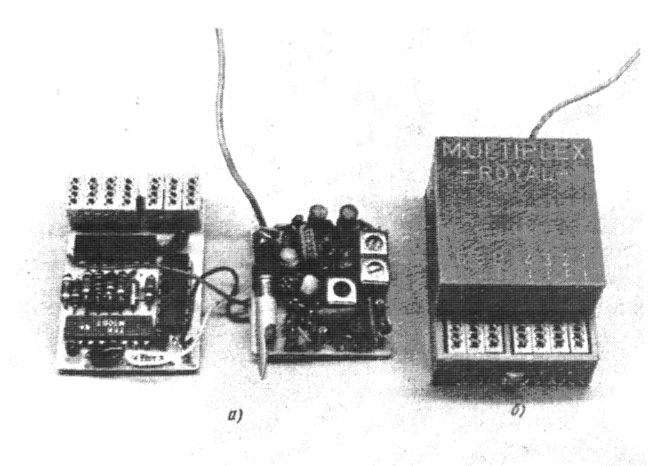


Рис. 225 Цифровой приемник с отдельными платами супергетеродинного приемника и декодирующего устройства (аппаратура *Multiplex-Royal*): *а* — платы; *б* — приемник в сборе

Недостаток применения интегральных схем в том, что приемник в любом случае содержит определенное количество декодирующих каскадов, которое не может быть уменьшено. Поэтому, например, на модель планера, для управления которым достаточно двухканального приемника, приходится устанавливать четырех- или даже шестиканальный, имеющий большую массу.

Использование интегральных схем при увеличении плотности монтажа позволяет выполнить комплектный четырехканальный приемник с декодирующими каскадами и гнездами для подключения сервомеханизмов в виде малогабаритного вдвижного блока (рис. 226).

Наряду с исполнением, когда супергетеродинный приемник и декодирующие каскады размещены на одной плате вместе с гнездами для сервомеханизмов, применяют также модульную систему, примером которой является аппаратура *Va-*

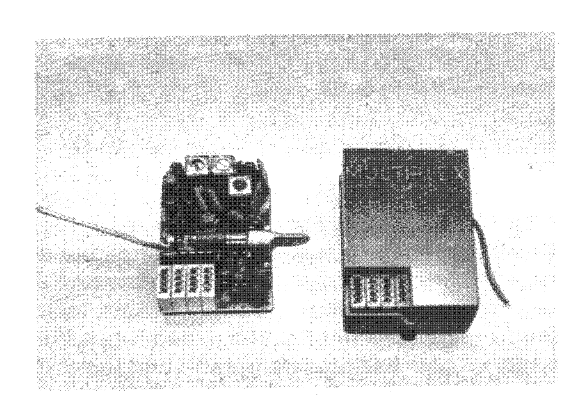


Рис. 226 Малогабаритный приемник, собранный с использованием интегральных схем (аппаратура *Multiplex-Mini 2* (*4*)

rioprop. В этой аппаратуре супергетеродинный приемник образует основной модуль, а декодирующие каскады, в данном случае идентичные с сервоэлектроникой для одного или двух каналов, подключаются к нему по мере необходимости с помощью штекерных разъемов (рис. 227). Благодаря этому простому способу число каналов можно довести до шести.

Кроме того, применение рулевых сервомеханизмов без встроенных электронных схем позволяет один приемник использовать для нескольких моделей, так как его без труда можно вставить в каждую из них или вынуть из нее. Сервомеханизмы, не имеющие электронных схем и потому недорогие, можно оставлять на модели. С 1973 г., когда начат выпуск модуля четырехканального декодирующего устройства и модуля сервомеханизма со встроенной электронной схемой, аппаратура *Varioprop* стала практически универсальной.

Положительные качества системы *Varioprop*, определяемые возможностью комбинирования модулей, имеют и свой недостаток: чем больше штекерных соединений имеет аппаратура, тем больше число возможных повреждений, вызванных неправильным обращением с нею. Некоторые изготовители стремятся уменьшить до предела число таких соединений, отказываясь от преимуществ системы *Varioprop*.

Наименьшее число штекерных соединений получают при установке сервоэлектроники в

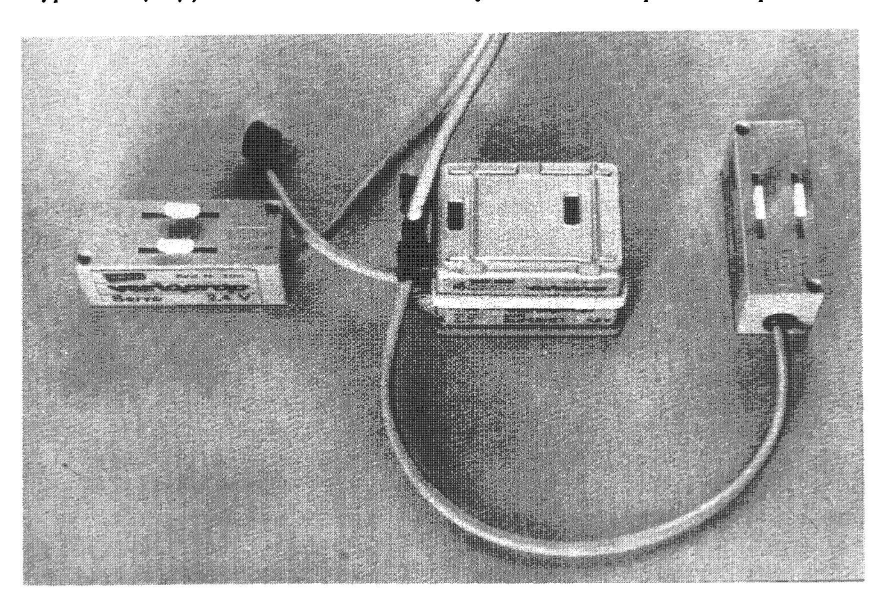


Рис. 227
Приемник модульной конструкции с модулями сервомеханизмов, не содержащих электронных схем (аппаратура *Varioprop*)

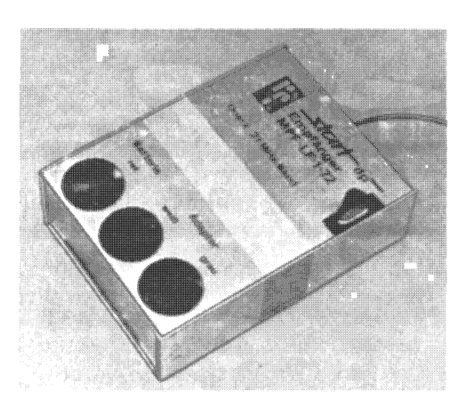


Рис. 228
Приемник аппаратуры *Start dp*

модулях сервомеханизмов. Тогда кроме соединений, необходимых для подключения этих модулей, требуется только соединение для подключения аккумулятора (рис. 228). Выбор того или иного варианта аппаратуры определяется целями и условиями ее применения.

В качестве материала для корпуса приемника используют листовой алюминий, но особенно пригоден ударопрочный пластик, такой как полистирол. Корпус из листового алюминия должен иметь отверстия для подстройки катушек входного контура. Такой корпус может быть изготовлен из двух П-образных частей, как это показано на рис. 210, *а* для корпуса передатчика. При пластиковом корпусе подстройка входного контура не требуется, поэтому необходимо лишь отверстие для установки кварцевого резонатора.

Приемники, выпускаемые промышленностью, почти всегда имеют корпус из ударопрочного пластика, а так как полистирол хорошо склеивается, его можно рекомендовать и для самодельных приемников.

Моделистам, самостоятельно изготовляющим аппаратуру, приходится иногда сталкиваться с кратковременными отказами аппаратуры, вызываемыми плохими контактами, повреждением кабелей и т. д. Повреждения могут появиться вследствие надрывов или переломов припаянных концов кабеля при грубом его подключении. Простую меру защиты представляет собой заключение кабеля в нерастягиваемую оболочку. Перед выходом из корпуса кабель необходимо тем или иным способом закрепить.

Анализ наиболее часто появляющихся повреждений приемников привел к тому, что в современных приемниках гнезда для подключения кабелей установлены непосредственно на плате. И лишь антенный провод (очень гибкий, многожильный) выходит из корпуса приемника.

6.2. Указания по обслуживанию аппаратуры и уходу за ней

Приведенные в данном разделе указания должны помочь моделистам обеспечить надежность их аппаратуры дистанционного управления. Эти указания являются результатом как опыта самого автора, так и многочисленных обсуждений проблем, возникающих при ра-

Рис. 229
Старт радиоуправляемых моделей: ***а*** **— скоростной судомодели;** ***б*** **— модели планера**

боте с аппаратурой дистанционного управления моделями. Указания, относящиеся к передатчику, справедливы и в отношении приемника, так как они являются составными частями одной аппаратуры. Например, такое указание: сначала должен быть включен передатчик, затем — приемник. При выключении наоборот: сначала необходимо выключить приемник, затем — передатчик. Такая последовательность включения и выключения предотвращает возможность того, что посторонний передатчик или неожиданное повреждение приемника приведет к неконтролируемому срабатыванию исполнительных механизмов модели и, возможно, к выходу их из строя.

Следующее указание: перед стартом обязательна проверка исполнения моделью (с работающим электродвигателем или двигателем внутреннего сгорания) всех команд (рис. 229). С помощью этой проверки можно выявить большинство неполадок. Не следует лишь забывать предварительно включить приемник и передатчик. Если модель непра-

вильно реагирует хоть на одну команду, ее не следует отпускать со старта. Она может стартовать лишь после выявления и устранения неисправности. Если для судомодели неисправность еще относительно безопасна, то этого нельзя сказать об авиамодели, где неисправность в большинстве случаев приводит к потере модели.

Выполнение этих двух указаний должно стать привычкой.

6.2.1. Указания по обслуживанию передатчика и уходу за ним

На значение поляризации высокочастотного излучения уже было указано в разделах 4.2.1.4 и 6.1.1. При практической работе с передатчиком следует обращать внимание на правильность выполнения этих указаний. Наилучшие условия распространения (характеристику направленности) получают при вертикальном положении антенны передатчика. Это означает, что в процессе управления передатчик необходимо держать так, чтобы антенна составляла примерно перпендикуляр по отношению к земной поверхности. На модели антенна также должна быть закреплена вертикально.

Если по каким-либо причинам антенна модели имеет горизонтальную поляризацию, антенну передатчика также следует направлять горизонтально. Это означает, что положение антенны передатчика следует изменять в соответствии с изменением положения антенны приемника, чтобы обе они всегда имели, по возможности, одинаковые направления.

Казалось бы, когда модель с расположенной вдоль нее антенной, приближается к моделисту, он должен направить антенну передатчика на модель. Но в направлении своей оси антенна имеет минимум излучения. Это касается как антенны передатчика, так и антенны приемника. Отсюда вывод: антенну передатчика нельзя направлять на модель! Если антенна приемника при этом расположена горизонтально, то антенна передатчика должна быть также горизонтальной, но направлена перпендикулярно к антенне модели.

Отсюда видно, что из-за движения модели идеальное согласование плоскостей поляризации обеих антенн на практике может быть реализовано лишь в редких случаях. Однако к этому необходимо стремиться, даже если модель находится не слишком далеко от моделиста, но еще имеется резерв дальности действия аппаратуры. Особенно это важно для авиамоделей, находящихся в полете, так как каждый милливатт напряжения на антенне, подаваемый на вход приемника, имеет значение для повышения надежности управления. Таким образом, необходимо следить за тем, чтобы антенна передатчика имела такую же поляризацию, как и антенна приемника.

Антенна передатчика должна быть закреплена так, чтобы

исключить возможность прерывания ее контакта со входом передатчика, и выдвинута на полную длину. Укорочение ее всего на несколько сантиметров (по сравнению с длиной, используемой при настройке) значительно уменьшает излучаемую мощность.

Передатчик нельзя включать без подключенной полностью вытянутой антенны. Антенна представляет собой нагрузку для оконечного каскада усиления мощности высокой частоты. При ее отсутствии мощность высокой частоты, которая была бы излучена через антенну, преобразуется в тепло. Кроме того, сильно увеличивается напряжение высокой частоты работающего вхолостую оконечного каскада, что может привести к выходу его из строя. Указание можно сформулировать так: сначала необходимо полностью вытянуть антенну, закрепить ее и только затем включить передатчик.

Судомоделисты иногда используют длинную антенну передатчика для подтаскивания модели к берегу. При этом передатчик ни в коем случае не должен быть включен. Это приводит к полной расстройке приемника и к неуправляемым срабатываниям сервомеханизмов, а те, в свою очередь, могут вызвать срыв зубчатых колес, смятие контактов и т. д.

Хотя современная цифровая аппаратура рассчитана на одновременную работу нескольких ее комплектов, но некоторые проблемы при практической работе с нею возникают и их приходится решать. Одна из этих проблем касается излучения на соседнем канале, другая — перекрестной модуляции. В случае одновременной работы двух комплектов самодельной аппаратуры на соседних каналах (например, на 17 и 19-м) слишком широкие полосы пропускания могут привести к взаимному влиянию комплектов, предотвратить которое можно только переходом на другие каналы (например, на 24 и 12-й), более разнесенные друг от друга.

При амплитудной модуляции помехи приему могут быть вызваны также перекрестной модуляцией. Эта модуляция возникает в том случае, когда мощность передатчика, создающего помехи, намного больше мощности собственного передатчика или когда этот первый передатчик находится намного ближе к модели, чем собственный передатчик. Поэтому при необходимости одновременной работы нескольких передатчиков их мощности должны быть примерно равны, а моделисты должны стоять одной группой. Расстояние между ними, составляющее 3—5 м, необходимо для предотвращения соприкосновения антенн передатчиков (не путать с перекрестной модуляцией).

Перекрестная модуляция может появиться при большом удалении модели от своего передатчика и приближении ее к другому передатчику. Так как это не всегда может быть предотвращено, необходимо следить, чтобы было выдержано следующее соотношение:

$$S_E \leqslant 10 \cdot S_F, \qquad (82)$$

где S_F — расстояние между моделью и посторонним передатчиком;

SE — расстояние между моделью и собственным передатчиком.

Многочисленные измерения, проведенные изготовителями аппаратуры дистанционного управления моделями, показали, что при таком соотношении расстояний, если выдержано условие равенства выходных мощностей, помехи из-за перекрестной модуляции почти никогда не возникают.

Моделисты, участвующие в соревнованиях, обычно имеют самую различную аппаратуру, которую до начала соревнований следует проверить «на совместимость», а результаты зафиксировать в таблице частот, где каждому участнику выделяется канал. Следует при этом рекомендовать, чтобы моделисты оповещали о выделенных им каналах цветными вымпелами на антенне передатчика или ярлычками, наклеенными на передатчиках и на моделях.

При использовании сверхрегенеративных приемников из-за их слишком широкой полосы пропускания и паразитных излучений невозможна одновременная работа нескольких комплектов аппаратуры дистанционного управления.

Чтобы не возникало взаимных помех при использовании супергетеродинных приемников (при их параллельной работе) должны быть выдержаны условия, касающиеся полос пропускания передатчиков и приемников. Так, на одном канале должен работать только один передатчик. Особым случаем является параллельная работа двух передатчиков при обучении новичка. Но оба передатчика здесь работают попеременно, поэтому фактически речь идет о работе только одного передатчика.

Трудно переоценить преимущества, даваемые сменными кварцевыми резонаторами. Но так как для передатчиков и приемников современной цифровой аппаратуры дистанционного управления используют почти исключительно вставные сверхминиатюрные кварцевые резонаторы, существует опасность путаницы резонаторов для приемника и передатчика. В случае такой путаницы передатчик и приемник будут работать на зеркальной частоте, т. е. на частоте, на которую они не настроены. В результате снизятся выходная мощность передатчика и чувствительность приемника, а следовательно, уменьшится дальность действия аппаратуры.

Однако еще опаснее то, что передатчик при такой путанице кварцевых резонаторов работает в полосе частот от 26,250 до 26 800 МГц, которая находится за пределами разрешенной для управления моделями полосы. Чтобы не путать кварцы, автор применяет для передатчика собственной конструкции миниатюрные кварцевые резонаторы, а для приемника, также сконструированного самостоятельно, — сверхминиатюрные.

Как уже было сказано, на практике передатчики имеют довольно различные мощности. Величина выходной мощности передатчика обусловлена в основном компромиссом между мощностью и временем работы. В интересах повышения помехозащищенности при разработке современной цифровой аппаратуры всегда идут в направлении повышения выходной мощности (1 Вт и более), жертвуя временем работы (2 ч). Однако нормальным следует считать время работы аппаратуры около 5 ч. Чему отдать предпочтение: выходной мощности или времени работы, определяет сам моделист в соответствии с поставленными целями. Важно только помнить, что, как правило, время работы передатчика короче времени работы приемника.

Целесообразно провести пробную эксплуатацию аппаратуры с полностью заряженными аккумуляторами на максимально достижимое время работы. Полученное ориентировочное время в будущем можно считать нормой. В конце нормального времени работы нужно внимательно следить за показателями контрольного прибора, установленного на передатчике. При переходе стрелки прибора в левую половину шкалы процесс управления необходимо прервать и подзарядить аккумуляторы передатчика и приемника.

После длительной паузы в работе передатчика рекомендуется предварительно проверить емкость аккумулятора и при необходимости подзарядить его (см. табл. 14). По окончании каждого дня работы с аппаратурой дистанционного управления все аккумуляторы должны быть дозаряжены до полной емкости. При длительных паузах в работе, например зимой, аккумуляторы, по крайней мере, каждые два месяца следует разрядить током I_{10} и затем снова зарядить. Это простое мероприятие позволяет поддерживать полную емкость даже неиспользуемых аккумуляторов в течение длительного времени.

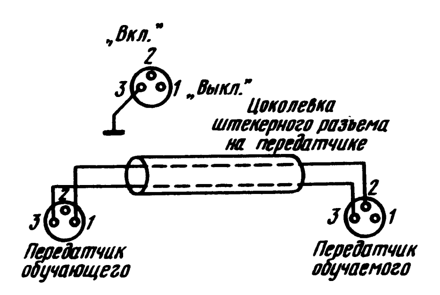
Все предыдущие рекомендации основывались на предположении, что посредством своего передатчика моделист управляет своей моделью. Но область применения современной цифровой аппаратуры может быть расширена. С ее помощью можно проводить обучение начинающих моделистов управлению моделями. Особый интерес это представляет для авиамоделистов, так как возможность передать управление опытному моделисту позволяет предотвратить аварию модели, которая могла быть вызвана неопытным учеником.

При этом два передатчика связывают друг с другом через зарядные фишки специальным кабелем. Зарядную фишку можно включить в схему передатчика (см. рис. 35, 40 или 42). В этом случае переключатель в положении «Вкл.» подключает аккумулятор к клемме *1*, а в положении «Выкл.» — к клемме *2*. Процесс обучения можно осуществлять при связи двух передатчиков, осущест-

вленной в соответствии со схемой, представленной на рис. 230. Из передатчика ученика при этом удаляют аккумулятор, а выключатель этого передатчика всегда должен оставаться в положении «Выкл.». Если выключатель передатчика обучающего перевести в положение «Выкл.», то напряжение питания через кабель подается на передатчик ученика, который может управлять моделью. При переводе выключателя в положение «Вкл.» включается передатчик обучающего, а передатчик ученика отключается.

На практике при обучении начинающего авиамоделиста наставник осуществляет старт модели и поднимает ее на безопасную высоту. После этого он передает управление ученику, переводя выключатель в положение «Выкл.» В критических положениях и при посадке модели он берет управление на себя, снова переводя выключатель в положение «Вкл.» Помощь опытного моделиста помогает начинающему быстро освоить управление моделью

Рис. 230
Кабель связи передатчиков обучаемого и обучающего



без риска потерять ее. При таком методе обучения можно даже специально проводить тренировки на выход из аварийных ситуаций для приобретения учеником необходимой уверенности в управлении моделью.

6.2.2. Указания по обслуживанию приемника и уходу за ним

Как и предыдущие, эти указания также основаны на практическом опыте и не могут претендовать на полноту. В большинстве случаев они относятся к практике управления авиамоделями, которые испытывают наибольшие нагрузки, вызываемые работой двигателя внутреннего сгорания и ударами при посадках.

Перед установкой приемника на модель следует проверить дальность действия аппаратуры. Оптимально настроенные передатчик и приемник, лежащий на земле, должны обеспечивать дальность действия от 800 до 1000 м. Если аппаратура имеет дальность действия, намного меньшую этого значения, то необходимо ее тщательно проверить и устранить неполадки.

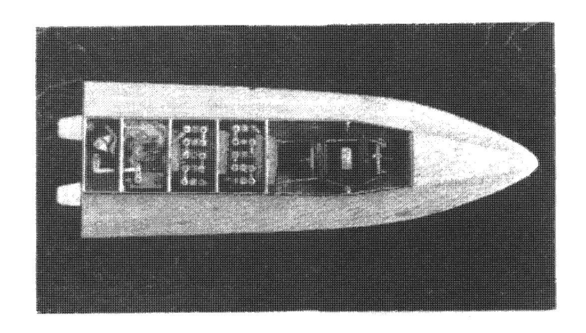
Это не относится к случаям преднамеренного снижения чувствительности приемника, например, для судомодели с электровигателем большой мощности, где таким образом повышают помехозащищенность приемника по отношению к помехам, создаваемым двигателем. Понятно, что двигатель в свою очередь должен иметь

эффективное устройство подавления помех.

Если проверка дальности действия дала положительный результат, то в модель можно установить приемник, аккумулятор и сервомеханизмы. При установке аппаратуры на модели, даже при самых первых ее проверках, ничего нельзя делать «временно». В дальнейшем не хватает времени на изменение этой временной установки, которая может оказаться причиной неполадок.

Но это не означает, что с самого начала необходимо искать оптимальное решение. Если выбранный вариант установки проверен в течение достаточно длительной эксплуатации и выявлены его недостатки по сравнению с другими вариантами установки, то в него можно внести усовершенствования. В этом случае оправдана поговорка: «Простейшее решение в большинстве случаев оказывается лучшим». Не следует только простое путать с примитивным.

Так как на модели с двигателем внутреннего сгорания из-за сильной вибрации аппаратура испытывает значительные нагрузки, установка ее должна быть выполнена очень тщательно и надежно (рис. 231). Если вибрация, вызываемая двигателем, передается непосредственно на приемник или сервомеханизм, они могут быстро выйти из строя. Поэтому на модели любого типа приемник следует обернуть губчатой резиной (толщиной



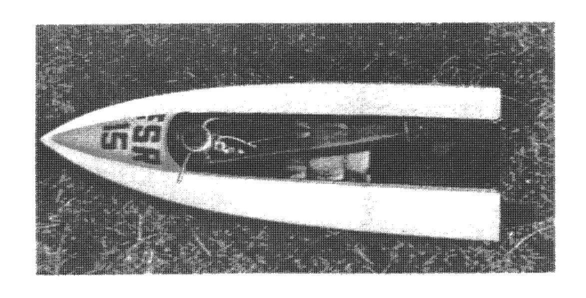


Рис. 231
Установка двигателя, приемника и аккумулятора на судомодели

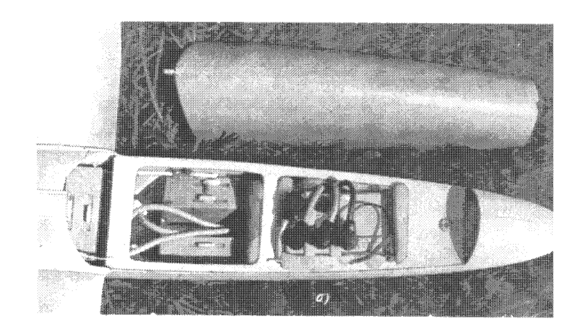
10 — 15 мм) и установить так, чтобы он не касался корпуса модели. Целесообразно для приемника предусмотреть отдельный отсек. Несмотря на прочность никелево-кадмиевых аккумуляторов, их также следует завернуть в губчатую резину и разместить впереди приемника по ходу модели.

Особенно большим нагрузкам подвергается приемник на авиамодели. Снизить до минимума вероятность выхода его из строя можно с помощью рационального расположения его узлов. При размещении аккумуляторов перед приемником при падении модели они не смогут разбить его.

На судомодели аккумуляторы рекомендуется уложить в небольшой пластиковый футляр и защитить его от водяных брызг. При наличии места приемник со всех сторон следует обернуть губчатой резиной толщиной примерно 10 мм (рис. 232). Для этого удобен стиропор, который легок и обладает хорошими демпфирующими свойствами. Его не следует стягивать слишком туго, чтобы за счет своей деформации он мог принимать на себя энергию вибрации и ударов.

Все это справедливо и в отношении установки сервомеханизмов на модели. Они также должны иметь защиту от вибрации и ударов, мешающую передаче усилия перекладки на руль. Поэтому сервомеханизм крепят с применением резиновых шайб или втулок, при этом крепежные винты нельзя затягивать полностью. Установки аппаратуры на модели с учетом перечисленных выше рекомендаций показаны на рис. 231—233.

Чтобы усилие перекладки



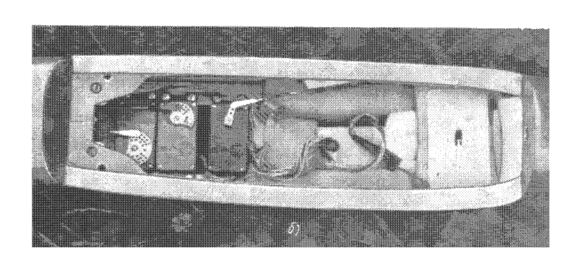


Рис. 232
Установка аппаратуры на авиамодели: *а* — на модели планера; *б* — на модели самолета

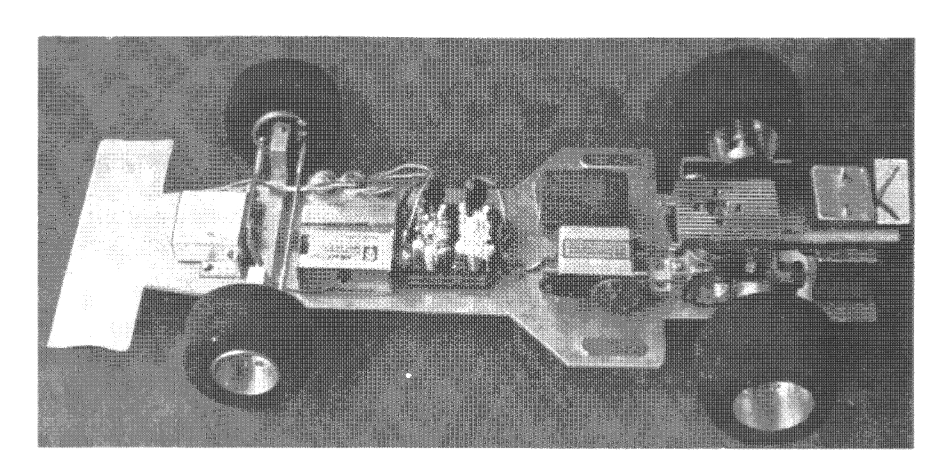


Рис. 233
Установка аппаратуры на автомодели

полностью передавалось на руль, конструкция руля и его рычажная система должны иметь малое трение в своих сочленениях. Чем меньше усилие требуется для перекладки руля, тем меньший ток потребляет при этом серводвигатель и тем больший срок службы при том же самом аккумуляторе будет у приемника и сервомеханизмов. Точность управления, особенно авиамоделей, зависит в основном от величины люфтов в рычажной системе передачи усилия на руль, т. е. необходимо обеспечить легкость хода этой системы при отсутствии люфтов.

Рычажная система должна быть жесткой. Пружинящие тяги управления при быстрых перекладках руля ведут к уменьшению угла его отклонения. Поэтому тяги управления должны быть короткими и прямыми.

Чтобы не было необходимости после каждого старта отключать приемник от аккумулятора с помощью штекерного разъема, на модели устанавливают выключатель. Место для него нужно выбирать очень тщательно, так как в большинстве случаев он не защищен от попадания пыли и воды. Кроме того, являясь механическим элементом аппаратуры, выключатель особенно чувствителен к воздействию вибрации. Опытные моделисты хорошо подпружинивают его, устанавливая внутри модели, а включение и выключение приемника производят с помощью специального рычага. Благодаря таким мерам выключатель можно не только предохранить от воздействия вибрации, но и защитить от попадания в него масла, выбрасываемого двигателем.

В судомоделях выключатель необходимо защищать также и от воды. Это справедливо и в отношении штекерных разъемов (рис. 233). Попадание на

них масла часто вызывает очень своеобразную и плохо выявляемую неисправность, так как она может появляться лишь время от времени. Поэтому необходимо регулярно осматривать разъемы и тщательно очищать их от возможных загрязнений. Очистку штырьков разъема можно производить, втыкая их в кусочек пенополистирола. Черные каемки на отверстиях для штырьков являются верным признаком загрязнения штырьков. Такой штекер попеременно вставляют в соответствующее гнездо и в кусочек пенополистирола до тех пор, пока черные каемки не исчезнут.

Чтобы каждый раз не вынимать аккумуляторы из модели для их подзаряда, целесообразно установить на модели зарядную фишку. Она позволяет также контролировать состояние заряда аккумулятора приемника. Это тем более важно, что приемник не имеет встроенного измерительного прибора для постоянного контроля.

Кабели в модели укладывают так, чтобы исключить возможность их касания о движущиеся части (сервомеханизмы, тяги и т. д.). Соединительные кабели между аккумулятором, приемником и сервомеханизмами размещают свободно. Небольшие перемещения элементов аппаратуры относительно друг друга, которые могут случиться, например при приземлении авиамодели, не должны вызывать натяжение кабелей, чтобы не появились трещины в местах пайки. Натяжение кабеля может привести к выдергиванию вилки штекерного разъема из гнезда.

Особую тщательность следует проявлять при установке рычажного механизма и руля. Сервомеханизмы должны иметь возможность без упоров полностью отклоняться на необходимые углы, рычажный механизм и руль не должны иметь люфтов при необходимой легкости хода.

При механическом ограничении угла отклонения руля сервомеханизм работает с полной нагрузкой, что вызывает большое потребление им тока. К такому же результату приводит слишком тяжелый ход рычажной системы и руля. Кроме того, он снижает точность отработки команд. Неравномерно или тяжело перемещаемые рычажная система и руль, а также работающий при отклонении руля до упора сервомеханизм часто являются причиной преждевременного разряда аккумулятора приемника. Сервомеханизм при этом потребляет ток от 350 до 400 мА.

Ограничение угла отклонения руля на моделях редко осуществляют механическим способом. Продолжение работы серводвигателя после достижения им упора чаще всего происходит при управлении положением дросселя двигателя. Из-за плохой настройки пути перекладки серводвигателя и дросселя положение «Полный газ» часто обеспечивают с помощью механического упора для дроссельной заслонки. В редких случаях такой упор

ставят для положения «Холостой ход».

Сборка механизма передачи усилия от серводвигателя к дросселю требует особой тщательности, если необходимо ограничить путь перекладки не механически, а с помощью сервоэлектроники. Неаккуратность сборки может привести не только к преждевременному разряду аккумулятора, но, что гораздо хуже, к выходу из строя из-за перегрузки транзисторов оконечного каскада и поломкам сервомеханизмов.

В аппаратуре дискретного дистанционного управления точную фиксацию руля в нейтральном положении стремятся обеспечить точным определением необходимой длины жесткой или гибкой тяги, так как возможность электронной подстройки здесь отсутствует. Наличие триммеров на передатчике пропорционального управления избавляет от необходимости в точной настройке, погрешности установки нейтрального положения руля можно компенсировать с помощью триммера. Но при первом удобном случае руль необходимо установить в нейтральное положение так, чтобы оно снова соответствовало нейтральным положениям ручки управления и триммера.

Чаще всего подстройка необходима по двум причинам.

Во-первых, из-за изменения характеристики элементов, входящих в схему генератора опорных импульсов сервомеханизма, в зависимости от температуры. В вечернее время, когда модель интенсивно охлаждается, и в полдень, когда она сильно нагревается, база времени этого генератора сдвигается так, что подстройка становится необходимой. Установив зависимость характеристик сервомеханизма от температуры, можно проградуировать положение триммера.

Во-вторых, необходимость в подстройке может вызвать падение напряжения питания приемника. Так как обычно одна группа аккумуляторов разряжается быстрее, чем другая, нейтральное положение сервомеханизма медленно смещается в одну сторону. Это требует постоянной подстройки сервомеханизма, хотя аппаратура еще функционирует. В этом случае следует прервать процесс управления и подзарядить аккумуляторы. Подстройку, вызываемую падением напряжения питания, нельзя использовать для контроля состояния заряда аккумулятора приемника. Может случиться так, что обе группы аккумуляторов получат одинаковые разряды, и тогда напряжение питания упадет очень быстро.

Необходимо постоянно учитывать время работы приемника. Если модель стартует с полностью заряженными аккумуляторами приемника и передатчика, то время работы иногда определяют временем работы передатчика. Но это неверно. Дело в том, что передатчик может быть рассчитан на небольшую выходную мощность, а аппаратура на модели в любом случае работает при одном и том же потреблении

тока. Время работы приемника в большой степени зависит от числа подключенных к нему сервомеханизмов и от характеристики управления. Чем больше это число и чем чаще подаются команды на управление, тем больше потребление тока аппаратурой, установленной на модели. При этом время работы аккумулятора приемника значительно сокращается. Так как сервомеханизмы аппаратуры пропорционального управления потребляют ток только во время перекладки рулей, команды необходимо подавать постепенно и ни в коем случае не прерывисто (по типу подачи дискретных команд).

При контроле времени работы принимают во внимание зависимость имеющейся емкости аккумуляторов от температуры. Независимо от типа используемого источника тока при низких температурах (например, зимой) его емкость сильно снижается. Поэтому в этих условиях планируют более короткое время работы, чаще контролируют состояние заряда и чаще подзаряжают аккумуляторы.

Температура электронной аппаратуры приемника не должна быть меньше температуры окружающего воздуха. На холодных частях сразу же образуется конденсат, впитываемый губчатой резиной. Этот конденсат может проникнуть в приемник или сервомеханизмы.

Кроме того, влажная губчатая резина может создавать электрическую связь между схемными элементами. Это приводит к трудно распознаваемым неисправностям аппаратуры, которые исчезают только после тщательного прогрева и сушки аппаратуры.

Антенну, устанавливаемую на модель, нельзя, как правило, укорачивать. Она должна иметь точно такую длину, которая при настройке приемника обеспечивала максимальную чувствительность (что соответствует максимальной дальности действия аппаратуры). Антенну погружают в корпус модели на возможно меньшую длину и максимально удаляют от электродвигателей, рулевых машинок, металлических поверхностей большой площади и проводящих ток проводников.

На авиамодели антенна может быть буксируемой, но чаще всего ее выполняют в виде куска проволоки, натянутой между фюзеляжем и стабилизатором. Чтобы антенна не передавала усилия натяжения на приемник, в месте ее выхода из фюзеляжа делают узел, который и воспринимает усилие натяжения. Для обеспечения постоянного натяжения антенны в ее рабочий участок вводят несколько нитей авиамодельной резины. Если необходимая длина антенны превышает расстояние от приемника до стабилизатора, то антенну можно сделать изогнутой, продлив ее до кромки хвостового оперения (рис. 234, *а*).

Наиболее благоприятные условия приема обеспечивает вертикальная штыревая антенна. Для судомоделей поэтому

Проволочная антенна

а)

Приемник

Штырьевая антенна

Аккумулятор

Сервомеханизм

Двигатель

б)

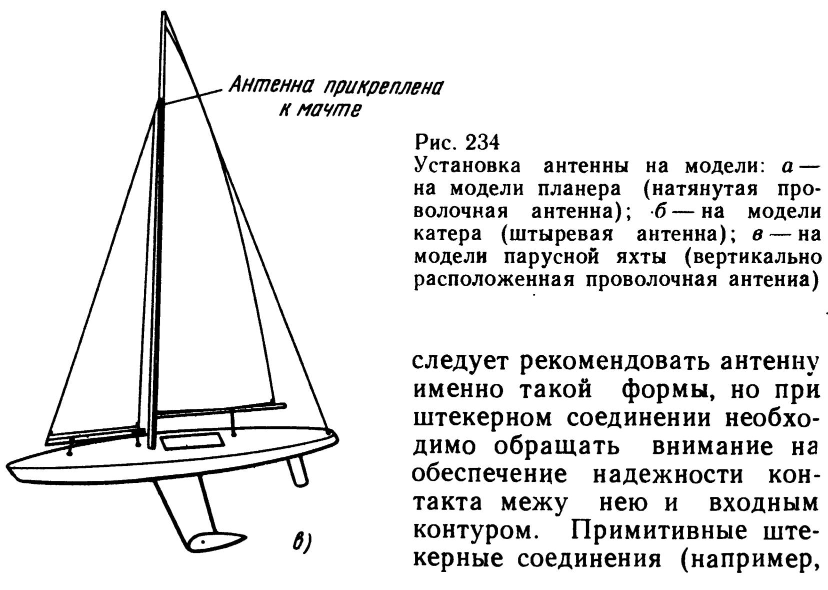


Рис. 234
Установка антенны на модели: *а* — на модели планера (натянутая проволочная антенна); *б* — на модели катера (штыревая антенна); *в* — на модели парусной яхты (вертикально расположенная проволочная антенна)

следует рекомендовать антенну именно такой формы, но при штекерном соединении необходимо обращать внимание на обеспечение надежности контакта межу нею и входным контуром. Примитивные штекерные соединения (например,

от игрушечной железной дороги) являются причиной частых отказов аппаратуры. Значительно надежнее ввинчиваемые штыревые антенны.

При неблагоприятных условиях приема, например, при наличии помех от отражений или излучений промышленной аппаратуры, в авиамоделях также применяют вертикальные штыревые антенны. При этом суммарная длина антенны и провода связи ее со входным контуром должна составлять длину антенны, при которой производилась настройка приемника. Особое внимание уделяют креплению антенны на моделях самолетов, испытывающих сильную вибрацию от работы двигателя. В этом случае применяют резьбовое крепление антенны или самое надежное — соединение пайкой.

Чтобы предотвратить опасность ранений, конец штыревой антенны делают не острым, а в виде петли.

Все положительное, достигнутое при конструировании, может быть сведено на нет в результате неграмотного управления моделью. Выше уже пояснялось, почему антенну передатчика нельзя направлять на модель. В процессе управления моделью следует предотвращать также положения, при которых антенна приемника направлена на моделиста, потому что тогда она имеет минимум напряженности поля. Если расстояние до модели велико, из-за этого можно потерять контроль над нею. При больших расстояниях до модели необходимо очень внимательно следить за поляризацией антенн передатчика и приемника.

С проблемой установки антенны связана проблема защиты от помех, излучаемых электродвигателями, которые установлены на модели.

Серводвигатели поставляются с устройствами подавления помех, поэтому доработок они не требуют. Проблема подавления помех возникает при использовании мощных электродвигателей для привода судо- и авто-, а иногда также и авиамоделей. Эти электродвигатели требуют установки эффективных фильтров подавления помех, особенно при использовании цифровой аппаратуры, так как она более чувствительна к воздействию помех, чем аппаратура дискретного управления. Фильтр, обеспечивающий высокий уровень подавления помех, создаваемых даже мощными электродвигателями, показан на рис. 235, *а*. Элементы фильтра припаивают непосредственно к клеммам двигателя (рис. 235, *б*). Если пайка невозможна, то расстояние между клеммами и конденсаторами *C1*, *C2* не должно быть больше 20 мм.

Электродвигатели излучают широкий спектр мощных помех. Поэтому целесообразно кроме установки фильтра подавления помех экранировать проводники. Если это не дает положительного результата, то следует попытаться уменьшить искрение щеток, повернув щеточную траверсу. Искрение щеток минимально

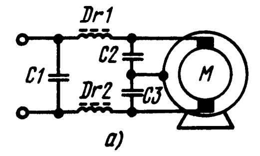
при расположении их в нейтральной зоне, положение которой зависит от нагрузки. Так как наибольшее искрение появляется при полной нагрузке, нейтральную зону находят именно при этом режиме работы.

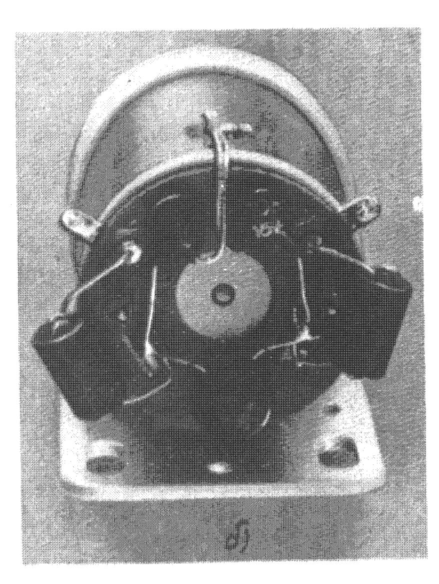
Учитывая сказанное выше, на моделях, имеющих электродвигатели, приемник и антенну следует устанавливать как можно дальше от этих электродвигателей и их проводников. При невозможности укоротить антенный фидер на модели лучше использовать экранированный кабель (рис. 236). Если несмотря на все мероприятия приемник испытывает воздействие помех, необходимо снизить его чувствительность или уменьшить напряжение питания электродвигателя, заменить его электродвигателем большей мощности или с более хорошей коммутацией.

После установки приемника, антенны и сервомеханизмов на модели необходимо тщательно проверить их функционирование при работающем двигателе (электродвигателе или двигателе внутреннего сгорания). Такую проверку повторяют через несколько минут, в течение которых двигатель (особенно двигатель внутреннего сгорания) продолжал работать. Если и теперь отказы не появятся, то можно быть уверенным, что аппаратура будет работать надежно.

В заключение следует остановиться на некоторых «мелочах». Несмотря на всю тщательность отладки аппаратуры, она неожиданно может все-таки отказать. Случается и другое: модель может унести сильный восходящий поток или мощный порыв ветра. Сопровождение модели при этом возможно лишь в редких случаях. Чтобы нашедший модель мог возвратить ее спортсмену, на хорошо видном месте модели следует указать все сведения, необходимые для ее пересылки или доставки.

Рис. 235
Фильтр подавления помех для электродвигателя. Емкость конденсатора *C1* равна 10 тыс. пФ, емкости конденсаторов *C2* и *C3* равны по 47 тыс. пФ, дроссели *Dr1* и *Dr2* имеют индуктивности по 20 мкГ: *а* — схема; *б* — пример установки фильтра на электродвигателе





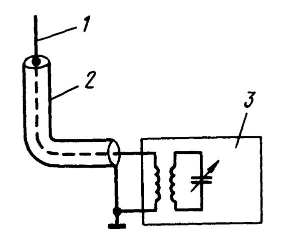
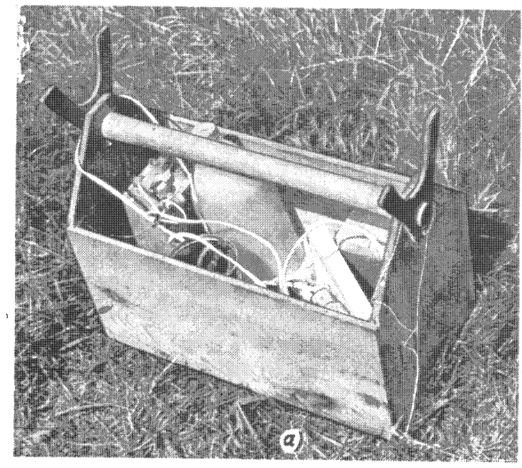


Рис. 236
Экранированный антенный фидер. *1* — короткая штыревая антенна, *2* — экранированный антенный кабель, *3* — приемник



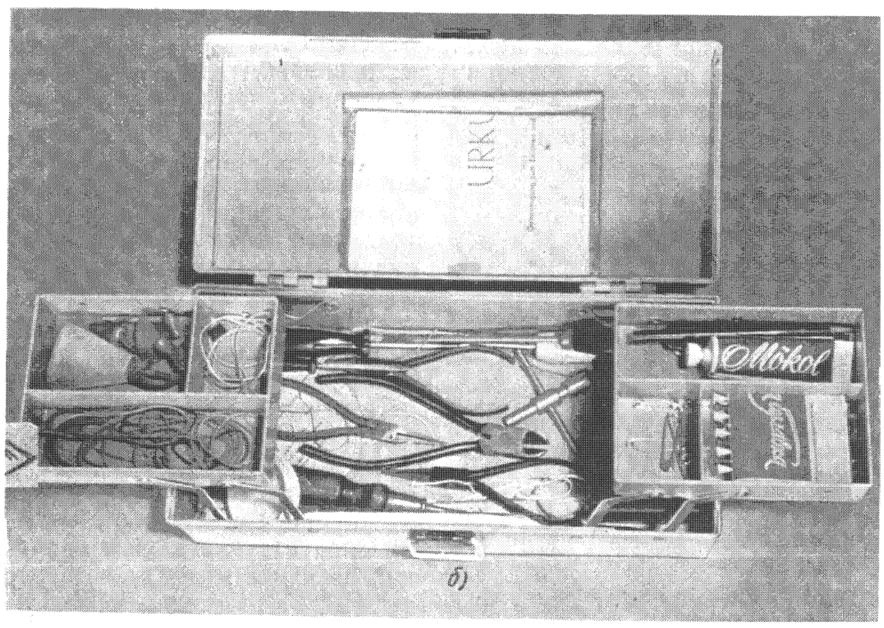


Рис. 237
Инструментальный ящик
а — самодельный; *б* — пластмассовый ящик заводского изготовления

При выездах на соревнования или тренировки кроме передатчика берут с собой дополнительный инструмент и запасные детали. Для их хранения необходим инструментальный ящик, который можно сделать самому, оснастив его подставкой для судо- или авиамодели (рис. 237, *а*). Опытные моделисты делают такие ящики, в которые можно уложить полный набор инструмента, батарейный паяльник, универсальный измерительный прибор, стартовый аккумулятор, бачок с запасом горючего и многое другое.

Хорошо зарекомендовали себя и инструментальные ящики промышленного изготовления, имеющие откидывающиеся отделения для мелких деталей (резиновых колец, клея, винтов, кварцевых резонаторов и т. д.) и для инструмента (рис. 237, *б*). Содержимое такого ящика, определяемое требованиями моделиста и особенностями его модели, постоянно пополняется. Поэтому ящик не должен быть слишком мал, даже если поначалу он и будет почти пустым, со временем он обязательно заполнится.

6.3. Указания по настройке и поиску неисправностей

При правильном уходе за аппаратурой дистанционного управления текущие работы по обслуживанию ограничиваются подзарядкой аккумуляторов приемника и передатчика. В случае интенсивной эксплуатации аппаратуры, например, еженедельно, необходимо один раз в год тщательно подстроить ее. Такую подстройку аппаратуры производят также и после сильных ее сотрясений. Чаще всего после каждого сотрясения проверяют дальность действия аппаратуры при расположении модели на земле. Определенные неисправности (расстройка контуров, повреждения схемных элементов и т. д.) проявляются в виде уменьшения напряженности поля передатчика.

При расположении модели в непосредственной близости от передатчика некоторые неисправности приемника можно «перекрыть» за счет его перегрузки. Выявленные неисправности необходимо устранить.

6.3.1. Указания по настройке аппаратуры

При настройке аппаратуры дистанционного управления различают работы по настройке генератора низкой частоты (или импульсного блока) и работы по настройке высокочастотного блока. В принципе все настроечные работы с достаточно высоким качеством можно осуществить с помощью простых приставок (к которым относятся измеритель мощности высокой частоты, измеритель напряженности поля), универсального измерительного прибора и наушников. Однако точная настройка требует использования плавно перестраиваемого калиброванного генератора низкой частоты и осциллографа.

Настройка генератора низкой частоты для передатчика дискретных команд

К тональному генератору передатчика дискретных команд подключают плавно перестраиваемый генератор синусоидальных колебаний низкой частоты и осциллограф (рис. 238). Временную развертку осциллографа ставят на нуль и вынимают из передатчика кварцевый резонатор. С помощью усилителей выравнивают амплитуды отклонений по вертикали и горизонтали.

При подаче на входы осциллографа сигналов тонального генератора и генератора низкой частоты передатчика на экране осциллографа появляется так называемая фигура Лиссажу. Если оба входных сигнала имеют синусоидальную форму и примерно одинаковые амплитуды, то фигура Лиссажу имеет форму эллипса (рис. 239). Тогда генератор

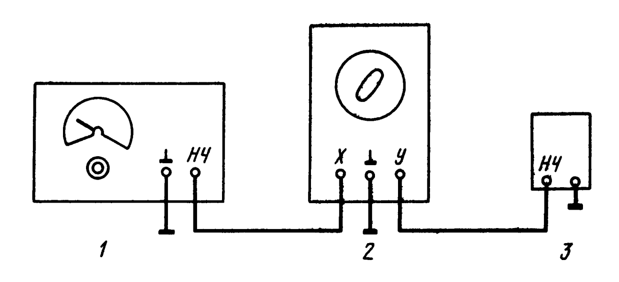


Рис. 238
Настройка генератора низкой частоты передатчика дискретных команд: *1* — калиброванный плавно перестраиваемый тональный генератор, *2* — осциллограф, *3* — генератор низкой частоты передатчика

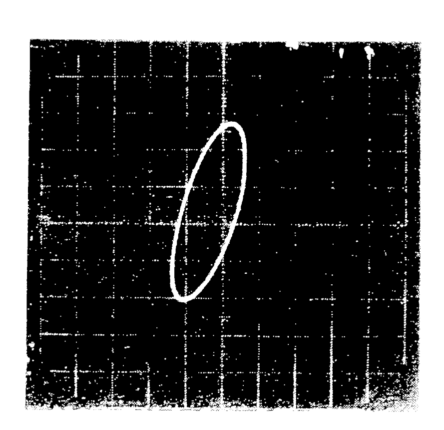


Рис. 239
Фигура Лиссажу, получаемая при равенстве частот тонального генератора и генератора низкой частоты передатчика

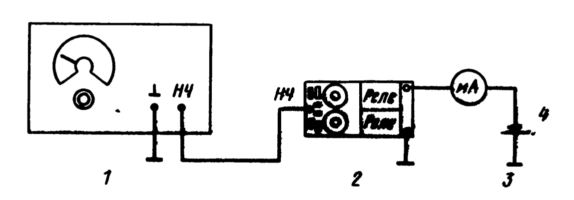


Рис. 240
Настройка каскада переключения приемника дискретных команд: *1* — калиброванный плавно перестраиваемый тональный генератор, *2* — каскад переключения, *3* — батарея приемника

низкой частоты настраивают на канальную частоту (см. табл. 6) и с помощью подстроечника (см. рис. 15) изменяют индуктивность катушки соответствующего канала до тех пор, пока на экране осциллографа не будет получен эллипс или круг, что соответствует равенству частот обоих сигналов, поступающих на входы осциллографа. В особых случаях, когда сдвиг фазы составляет 0 и 180°, эллипс преобразуется в прямую. Необходимое количество витков для катушек канальных контуров рассчитывают по формулам, приведенным в разделе 3. 2. 1.

Если в передатчике в качестве тонального генератора использован мультивибратор, его можно настроить таким же способом, но фигура, получаемая на экране осциллографа, будет иметь вид не эллипса, а искаженного прямоугольника.

Настройка каскадов переключения приемника дискретных команд

Для настройки каскадов переключения приемника дискретных команд по низкой частоте его подключают к генератору низкой частоты и универсальному измерительному прибору (рис. 240). Генератор низкой частоты настраивают на канальную частоту при напряжении $U_{NF} \approx 0{,}5$ В и с помощью изменения индуктивности катушки колебательного контура в соответствующем каскаде переключения настраивают этот контур в резонанс.

При этом нельзя допускать перегрузки каскада переключения. Подстроечные резисторы на входе устанавливают в среднее положение. Выходное напряжение генератора низкой частоты снижают, чтобы при настройке суммарный ток каскада переключения не превышал 20 мА, при котором притягивается якорь реле. Теперь можно осуществить точную настройку на максимум тока (что соответствует резонансу). Резонансная кривая должна быть острой и узкой (нижняя кривая на рис. 241), если же она имеет плоскую вершину (верхняя кривая), то настройку следует уменьшить.

Когда настройка на соответствующие канальные частоты закончена, каскады переключения подключают к приемнику. Универсальный измерительный прибор оставляют в цепи питания в качестве амперметра. Затем передатчик удаляют на предельную дальность действия аппаратуры и с помощью подстроечных резисторов, уста-

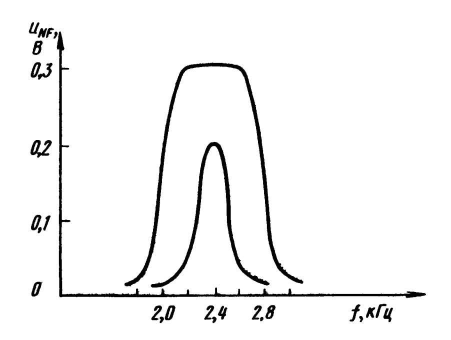


Рис. 241
Кривые настройки каскада переключения приемника дискретных команд. Уплощение вершины более высокой кривой вызвано воздействием перекрестных помех между каналами

новленных на входах каналов, на всех каналах получают одинаковые токи при включенном передатчике. При этом якоря всех реле должны надежно притягиваться.

Затем приемник и передатчик сближают на расстояние до 1 м и проверяют, нет ли перекрестных помех между каналами (что проявляется в одновременном притягивании якорей реле двух или более каналов), когда передатчик подает команды только по одному каналу. При наличии помех подстроечные резисторы поворачивают в обратную сторону до тех пор, пока помехи исчезнут. В этом случае приходится мириться с уменьшением чувствительности приемника.

Настройка импульсного блока цифрового передатчика

Осциллограф подключают к выходу формирователя импульсов, например, к коллектору транзистора *Т6* (см. рис. 35). При этом осуществляют предварительную настройку импульсного блока. На время настройки кварцевый резонатор вынимают из приемника. Поворотом осей канального потенциометра и подстроечного резистора, установленного в цепи базы транзистора канального каскада, получают импульсные диаграммы, соответствующие диаграммам, показанным на рис. 36 и 37.

Окончательную настройку производят с включенным приемником и контрольным или калиброванным сервомеханизмом. Самодельную аппаратуру можно настроить с помощью калиброванного сервомеханизма или сервомеханизма от другой аппаратуры. Окончательную настройку можно осуществить осциллографом с калиброванной базой времени.

Если для настройки включить передатчик и приемник с подключенным к нему сервомеханизмом, то окажется, что, несмотря на нейтральное положение ручки управления и триммера, а также на предварительную настройку, калиброванный сервомеханизм не находится в среднем положении. В этом случае ось соответствующего канального потенциометра поворачивают до тех пор, пока сервомеханизм придет в среднее положение. Затем ручку управления и триммер переводят в крайнее положение, при этом сервомеханизм ни в коем случае не должен доходить до упора.

Если путь перекладки сервомеханизма слишком велик или мал, то с помощью подстроечного резистора в цепи базы канального транзистора длительность импульса изменяют так, чтобы при полном отклонении сервомеханизм не достигал упора примерно на 1 мм (при переводе ручки управления и триммера в крайнее положение). Пути перекладки сервомеханизма в обоих направлениях должны быть равны, а для этого среднее положение его можно подстроить с помощью канального потенциометра.

Настройку повторяют для каждого канала, благодаря чему длительности импульсов и

пределы их изменения равны для всех каскадов.

Длительность импульса для самодельной аппаратуры не имеет значения, а для наиболее распространенных образцов аппаратуры дистанционного управления, выпускаемых промышленностью, она указана в табл. 7.

Настройка цифрового сервомеханизма

Настройку можно осуществить с помощью передатчика и приемника или с помощью прибора для проверки сервомеханизмов (см. рис. 247). Процесс настройки пояснен на примере настройки сервоэлектроники, показанной на рис. 68. Предварительную установку сервомеханизма в среднее положение производят подбором сопротивления резистора *R4*. Путь перекладки определяется отношением сопротивлений резисторов в делителе напряжения *R1*, *R2* и *R3*. Если сопротивление резистора *R1*, *R3* ниже указанного на рис. 68, то путь перекладки уменьшается, и наоборот. При полном отклонении ручки управления этот путь должен быть примерно на 1 мм меньше пути до упора, чтобы предотвратить работу сервомеханизма после достижения им упора. Среднее положение сервомеханизма точно устанавливают поворотом корпуса или оси потенциометра.

Настройка высокочастотного блока передатчика

Точной настройкой высокочастотного блока передатчика добиваются отдачи максимальной выходной мощности и удовлетворительного КПД, а значит, требуемой дальности действия аппаратуры дистанционного управления и оптимального использования емкости батареи. Передатчики дискретных команд настраивают в соответствии с указаниями, перечисленными в отношении настройки цифровых передатчиков.

Предварительную настройку высокочастотного блока производят на деревянном столе, с которого удалены все металлические детали (зажимы, измерительные кабели и т. д.). При этом все сердечники вывинчивают из высокочастотных катушек и, вставив кварцевый резонатор, подключают тональный генератор и импульсный блок. В результате настройка ведется при модулированном высокочастотном сигнале, а на плату передатчика поступает половина напряжения питания. Это обеспечивает щадящий режим работы транзисторов и дает гарантию надежной работы генератора высокой частоты даже при более высоком напряжении питания. В течение всего процесса настройки высокочастотного блока производят измерения тока на его выходе.

При ввертывании подстроечника катушки генератора, которое следует делать медленно, колебательный контур все более приближается к точке своего резонанса, что видно по увеличению тока. В зависимости от глубины введения подстроечника ток возрастает при-

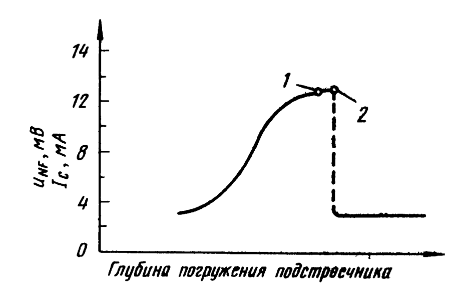


Рис. 242
Кривая настройки генератора высокой частоты: 1 — точка максимальной стабильности колебаний, 2 — срыв колебаний

мерно в соответствии с кривой, изображенной на рис. 242. Кривая показывает, что при ввинчивании подстроечника ниже определенного предела ток быстро падает, а колебания срываются.

При настройке, получив максимальное значение тока, подстроечник вывинчивают примерно на пол-оборота, благодаря чему обеспечивают работу генератора в точке максимальной стабильности колебаний. Затем отключают и снова подключают батарею питания, ток при этом не должен изменять свое значение, а генератор самовозбуждаться. Самовозбуждение можно предотвратить небольшим увеличением тока, уменьшив сопротивление резисторов в цепи эмиттера транзистора.

Если колебания генератора устойчивы, то недалеко от него размещают катушку измерителя напряженности поля, в которую ввинчивают подстроечник до тех пор, пока стрелка его индикатора получит максимальное отклонение. Теперь измеритель напряженности поля настроен. Затем генератор включают на полное напряжение питания, проверяют его характеристики колебаний при включении и выключении и повторяют процесс настройки. Настроенный генератор при максимальной стабильности колебаний должен потреблять ток около 10 мА.

Далее настраивают в резонанс колебательный контур предоконечного каскада, что соответствует минимуму тока.

Так как выходной каскад усиления высокой частоты нельзя включать без нагрузки, для настройки устанавливают эквивалент антенны, который одновременно используют для измерения мощности. Эквивалент антенны выполняют в виде резистора сопротивлением 60 Ом, который, учитывая выходную мощность передатчика, должен представлять собой углеродистый или проволочный резистор, рассчитанный на рассеиваемую мощность 1 Вт. При частоте 27,12 МГц резисторы обладают достаточно большой индуктивностью, которую снижают посредством параллельного включения нескольких резисторов.

Так, для изготовления эквивалента антенны можно использовать четыре резистора 250 Ом/0,25 Вт, собрав их в пучок и плотно скрутив выводы между собой. Затем скрученные выводы укорачивают примерно до 10 — 15 мм и хорошо пропаивают. В основу измерений выходной мощности положена формула:

$$P = \frac{U_{max}^2}{2R}, \quad (83)$$

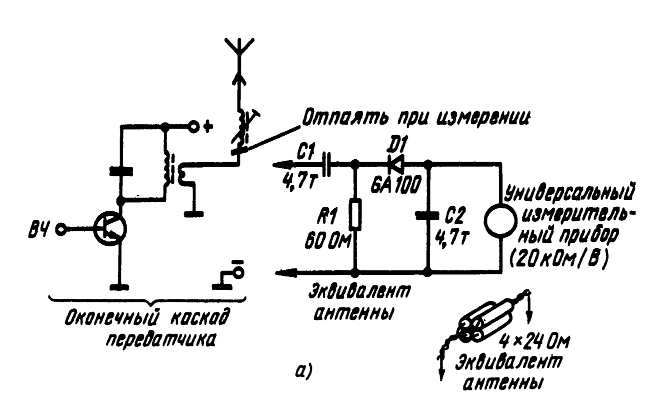
$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}, \quad (84)$$

где U_{eff} — эффективное значение напряжения.

Следовательно, каждому значению напряжения на эквиваленте антенны соответствует определенное значение мощности высокой частоты.

Для измерения напряжения подключают высокочастотный детектор и высокоомный измерительный прибор. В качестве последнего желательно использовать ламповый вольтметр, но достаточную точность измерений обеспечивает и хороший универсальный измерительный прибор, с сопротивлением 20 кОм/В (рис. 243). Мощность высокой частоты можно найти в табл. 16 по величине замеренного напряжения, а промежуточные значения рассчитать по формуле (83).

Во время измерений следят, чтобы эквивалент антенны с помощью проводников минимальной длины был подключен непосредственно к высокочастотному выходу передатчика



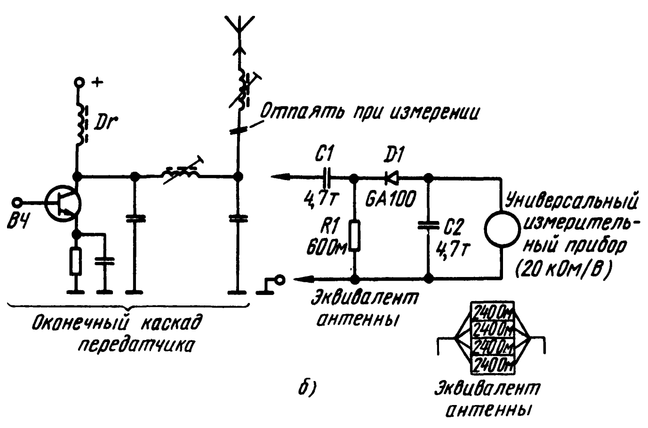


Рис. 243
Подключение эквивалента антенны: *а* — к схеме с катушкой связи; *б* — к схеме с П-фильтром

Таблица 16

Зависимость мощности высокой частоты P_{HF} от напряжения высокой частоты U_{HF} на эквиваленте антенны

U_{HF}, В	P_{HF}, мВт	U_{HF}, В	P_{HF}, мВт
2,45	50	7,38	450
3,46	100	7,78	500
4,26	150	8,49	600
4,92	200	9,18	700
5,50	250	9,80	800
6,02	300	10,40	900
6,51	350	10,95	1000
6,95	400		

перед удлинительной катушкой антенны — к катушке связи или к последнему конденсатору П-фильтра. Для измерений с помощью лампового вольтметра за основу можно принять значения, указанные в табл. 15. При использовании высокоомного универсального измерительного прибора с сопротивлением 20 кОм/В значения напряжений при тех же мощностях высокой частоты несколько меньше. С помощью эквивалента антенны оконечный каскад усиления мощности высокой частоты настраивают на максимум этой мощности.

Для окончательной настройки плату высокочастотного блока устанавливают в корпусе передатчика. Окончательную настройку, как и предварительную, производят на деревянном столе. При этом антенну полностью выдвигают, а передатчик крепко держат в руках в течение всего процесса настройки, чтобы учесть влияние емкости рук и корпуса. Измеритель напряженности поля устанавливают на расстояние более 10 м от передатчика.

Сначала настраивают в резонанс удлинительную катушку антенны. Резонанс находят по максимальному излучению высокой частоты. При этом стрелка на измерителе напряженности поля отклоняется на максимальный угол. Затем попеременной подстройкой предоконечного и оконечного каскадов и антенны добиваются наибольшего излучения высокой частоты высокочастотным блоком передатчика. При этом потребляемый ток минимален, что является признаком оптимальной настройки передатчика с достаточно хорошим КПД.

Передатчик оставляют включенным примерно на 10—15 мин, чтобы схемные элементы могли достаточно прогреться, после чего повторяют настройку предоконечного и оконечного каскадов, а также антенны (удерживая все это время передатчик в руках), пока не будет достигнуто максимальное излучение высокой частоты. Это означает, что высокочастотный блок передатчика настроен.

Перед началом каждого соревновательного сезона и после каждого ремонта (замены схемных элементов, особенно транзисторов или элементов колебательных контуров) настройку следует повторять.

Настройка высокочастотных каскадов приемника

Все работы по настройке как сверхрегенеративного, так и супергетеродинного приемника выполняют на деревянном столе. Длина антенны при этом должна быть равна длине антенны, устанавливаемой на модели. Передатчик с полностью выдвинутой антенной включают на передачу модулированной высокой частоты и устанавливают на расстоянии около 2 м от приемника. После предварительной настройки антенну передатчика укорачивают (вдвигают) и постепенно увеличивают расстояние между передатчиком и приемником до 100 м.

Если такая возможность отсутствует, то передатчик можно установить в сухую стиральную машину и закрыть ее крышкой. Напряженность поля около стиральной машины примерно соответствует напряженности поля около приемника при удалении от него передатчика на расстояние 800—1000 м.

Для настройки сверхрегенератора к выходу усилителя низкой частоты подключают наушники. Правда, этот метод настройки не очень точен, так как человеческое ухо слабо различает малую разницу амплитуд и искажение формы импульсов. Значительно точнее настройка при использовании вместо наушников универсального измерительного прибора или осциллографа. Кроме того, с помощью осциллографа можно выявить малейшие искажения низкой частоты.

Настройка сверхрегенератора ограничивается в основном точной настройкой входного контура в резонанс. Для окончательной настройки передатчик удаляют на такое расстояние, чтобы амплитуда низкой частоты уменьшилась вдвое по сравнению с ее максимальным значением при предварительной настройке, и затем настраивают приемник на максимальную чувствительность (на максимум амплитуды низкой частоты). Еще большее увеличение чувствительности получают за счет точного согласования антенного конденсатора и конденсатора обратной связи. Для этого оба конденсатора заменяют триммерами, которые после настройки снова заменяют постоянными конденсаторами соответствующей емкости. Но в большинстве случаев эти мероприятия не дают большого выигрыша, так как сверхрегенеративный приемник и без того обладает большой чувствительностью.

Иногда окончательную настройку сверхрегенеративного приемника производят на модели, чтобы учесть емкости, создаваемые ее конструкцией.

Перечисленные выше общие указания по настройке справедливы и для настройки супергетеродинных приемников. Но при этом следует помнить, что настройка колебательных контуров усилителя промежуточной частоты оказывает решающее влияние не только на чувствительность приемника, но и на коэффициент нелинейных искажений. Поэтому для настройки супергетеродинного

приемника целесообразно использовать осциллограф, подключая его к выходу усилителя низкой частоты. Только с помощью осциллографа можно оценить форму импульса, которая в конечном счете определяет надежность работы цифровой аппаратуры. Таким образом, настройка супергетеродинного приемника для цифровой аппаратуры должна иметь целью получение не только необходимой чувствительности, но и импульсов правильной формы.

Очень точно настроить приемник на максимальную чувствительность, что соответствует наименьшему отклонению стрелки прибора, позволяет другой часто применяемый способ настройки приемников. При этом способе универсальным измерительным прибором измеряют напряжение регулировки между коллектором транзистора демодулятора и массой или между диодом демодулятора и массой. Затем с помощью осциллографа проверяют форму импульсов или, после окончательной настройки,— работу приемника с подключенным сервомеханизмом.

Для выполнения настройки в приемнике должен быть установлен соответствующий кварц (с учетом величины промежуточной частоты). Антенна может свободно свешиваться со стола. Настройку следует проводить неметаллической отверткой.

Сначала настраивают входной контур, затем контуры усилителя промежуточной частоты. Настройку ведут до тех пор, пока измерительный прибор или осциллограф перестанут показывать дальнейшее повышение напряжения регулировки и амплитуды импульса или низкой частоты. Тогда антенну передатчика укорачивают, а передатчик удаляют на такое расстояние, при котором отклонение стрелки прибора или амплитуда импульсов уменьшится в два раза. Процесс настройки, выполняемый в направлении от входа к выходу (входной контур — первый — второй — третий каскады усиления промежуточной частоты), повторяют до тех пор, пока чувствительность перестанет увеличиваться.

Супергетеродинный приемник можно настраивать только через несколько часов после окончания пайки, чтобы схемные элементы, особенно фильтры промежуточной частоты, успели охладиться. По окончании настройки высокочастотных каскадов приемника проверяют правильность его работы с подключенными каскадами переключения и сервомеханизмами.

Проверку работоспособности приемника можно объединить с проверкой его прочности. Для этого корпус приемника закрепляют на внутреннем ноже электробритвы, якорь которой совершает возвратно-поступательные движения. Если при такой проверке сервомеханизмы или каскады переключения работают нормально, то можно быть уверенным, что приемник и на модели будет работать надежно.

6.3.2. Указания по поиску неисправностей

Бóльшая часть неисправностей может быть довольно точно выявлена с помощью простых контрольных и измерительных приборов. Основными из них являются универсальный измерительный прибор, наушники, измеритель напряженности поля и контрольный приемник. Осциллограф нужен только при наличии неисправностей в импульсных каскадах. Кроме этих приборов необходима принципиальная схема аппаратуры и точные данные об электрических параметрах работы отдельных каскадов.

Разнообразие образцов электронной аппаратуры дистанционного управления не позволяет разработать единый «рецепт» поиска неисправностей. Поэтому даваемые ниже рекомендации представляют собой лишь алгоритм такого поиска. На практике с помощью принципиальной схемы, измерительного прибора, а иногда и осциллографа часто приходится проверять аппаратуру вплоть до последней детали, чтобы выявить неисправность. Алгоритмы определяют лишь последовательность такой проверки.

В большинстве случаев поиск начинают с шага *1* и в зависимости от полученного результата продолжают поиск до тех пор, пока неисправность будет найдена. Может оказаться, что уже после шага *1* (аккумулятор разряжен) поиск может быть закончен.

Существуют также определенные ситуации, позволяющие ограничить поиск частью алгоритма. Если, например, совершенно ясно, что неисправен приемник (в результате падения), то поиск ограничивается шагами *1, 2, 3, 4* и *5*.

Алгоритм поиска неисправностей, имеющих постоянный характер

Шаг 1. Замерить напряжение батареи передатчика под нагрузкой (выключатель поставить в положение «Вкл.», антенну выдвинуть полностью). Если отклонение напряжения от его номинального значения превышает 20%, необходимо заменить батерею или подзарядить аккумулятор до продолжения дальнейшего поиска.

Шаг 2. Замерить ток, потребляемый передатчиком под нагрузкой (антенну выдвинуть полностью, выключатель поставить в положение «Выкл.», зашунтировать выводы выключателя универсальным измерительным прибором).

Шаг 3. Проверить излучение высокой частоты передатчика с помощью измерителя напряженности поля.

Шаг 4. Проверить генератор передатчика с помощью контрольного сверхрегенеративного приемника. Если генератор передатчика работает, то шум при сверхрегенерации отсутствует. В противном случае следует заменить кварцевый резонатор, так как неисправность может быть в нем.

Шаг 5. Проверить модуляцию с помощью контрольного приемника. Модуляции различных типов в передатчике

дискретных или цифровых команд дают типичный характер звучания.

Шаг 6. Замерить напряжения на транзисторах усилителя низкой частоты и импульсного блока.

Шаг 7. Неправильная форма импульсов может быть точно выявлена только с помощью осциллографа. Искажение формы импульсов, как правило, приводит к нарушению работы определенных схемных узлов аппаратуры, но не к полному выходу ее из строя.

Шаг 8. Замерить напряжение питания приемника под нагрузкой (с подключенным сервомеханизмом или рулевой машинкой, при включенном передатчике и передаче команд по данному каналу). Если отклонение величины напряжения от номинального напряжения превышает 20%, то необходимо заменить батарею или подзарядить аккумулятор до продолжения дальнейшего поиска неисправностей.

Шаг 9. Замерить ток, потребляемый приемником под нагрузкой (при подаче команд передатчиком по данному каналу).

Шаг 10. Заменить кварцевый резонатор в супергетеродинном приемнике другим, предназначенным для того же канала, или заменить кварцевые резонаторы в приемнике и передатчике.

Шаг 11. Проверить генератор передатчика с помощью контрольного сверхрегенеративного приемника (при работающем генераторе шум исчезает).

Шаг 12. Проверить схемные элементы с помощью лупы на наличие возможных механических повреждений.

Шаг 13. Если неправильно работает только один сервомеханизм, то посредством его замены или переключения на другой канальный выход определить, неисправен ли сервомеханизм или декодирующий каскад.

Шаг 14. Замерить напряжения на транзисторах приемника и исполнительных механизмах (сервомеханизмах).

Шаг 15. Покаскадно проверить прохождение сигнала в приемнике и исполнительном механизме с помощью осциллографа или наушников.

Неисправности, носящие временный характер, можно выявить только систематическим поиском.

Алгоритм поиска неисправностей, носящих временный характер

Шаг 1. Замерить выходную мощность.

Шаг 2. Проверить дальность действия на земле.

Шаг 3. Проверить поляризацию антенн передатчика и приемника.

Шаг 4. Проверить длины антенн передатчика и приемника.

Шаг 5. Проверить условия распространения волн (возможна плохая проводимость земли, наличие отражений и т. д.), повторить проверку при смене места тренировки.

Шаг 6. Проверить наличие импульсных помех, возникающих при трении друг о друга

деталей, выполненных из различных металлов. Для проверки по оголенному антенному проводу проводят напильником, при возникновении помех сервомеханизм подергивается.

Шаг 7. Проверить наличие постороннего излучения (медицинской или промышленной высокочастотной аппаратуры, других передатчиков), которое встречается довольно часто. Возможный путь устранения этой неисправности — смена канала. Как показывает практика, наименьшее количество посторонних излучений наблюдается на крайних каналах (на 2, 4, 27 и 30-м).

Шаг 8. Проверить контакты всей электронной аппаратуры, установленной на модели. При работающем двигателе последовательно закрепить все схемные элементы, пока не будет найден плохо контактирующий элемент. После устранения этой неисправности аппаратуру снова проверить на вибропрочность с помощью электробритвы, как это было пояснено выше. Если неисправность ограничена определенным схемным узлом, то отдельные схемные элементы выстукивают, а соединительные провода, выключатели, штекерные разъемы, а также схемные элементы проверяют натягиванием и покачиванием.

В аппаратуре дистационного управления используют только медные многожильные провода с поливинилхлоридной изоляцией. При их пайке образуется небольшое количество соляной кислоты, которая со временем приводит к появлению раковин на медных проводах. Поэтому пайка должна быть кратковременной, при пайке необходимо использовать достаточное количество канифоли, жалом паяльника не следует касаться изоляции. Независимо от этого через каждые два года нужно тщательно проверять состояние мест пайки.

Шаг 9. Проверить температуру и влажность воздуха. Наличие конденсата в сервомеханизме или в приемнике, а также очень большая влажность воздуха (при неисправных схемных элементах) часто приводят к очень трудно выявляемым неисправностям, так как после «просушивания» аппаратуры они исчезают (подышать на внушающие подозрение детали!).

7. Приборы проверки и контроля

Моделисту необходим определенный набор приборов для проверки и контроля аппаратуры дистанционного управления. О некоторых простых приборах проверки, таких как измеритель напряженности поля, измеритель выходной мощности, было сказано выше. Простые приставки к универсальному измерительному прибору можно изготовить самостоятельно.

К необходимым приборам относятся также наушники и универсальный измерительный прибор (по возможности с сопротивлением 20 кОм/В). С помощью основного набора возможно проведение самых важных работ по обслуживанию аппаратуры.

Очень желательно дополнить этот набор осциллографом (рис. 244) и генератором синусоидальных и прямоугольных колебаний (рис. 245). Но так как оба эти прибора требуются лишь для проведения определенных редко требуемых работ, их можно брать на время. Этими приборами располагают политехнические учебные заведения, некоторые профессиональные училища, технические и радиоклубы. Кроме основных приборов моделист может изготовить для своих целей специальные приборы. О них сказано в следующих разделах.

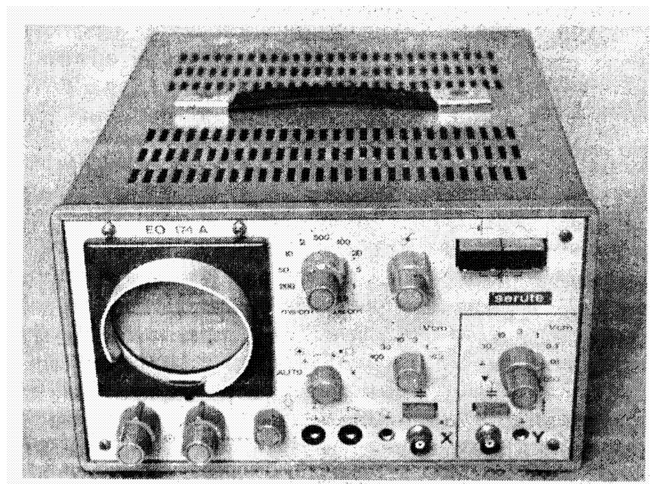


Рис. 244
Осциллограф типа *EO 174 A*

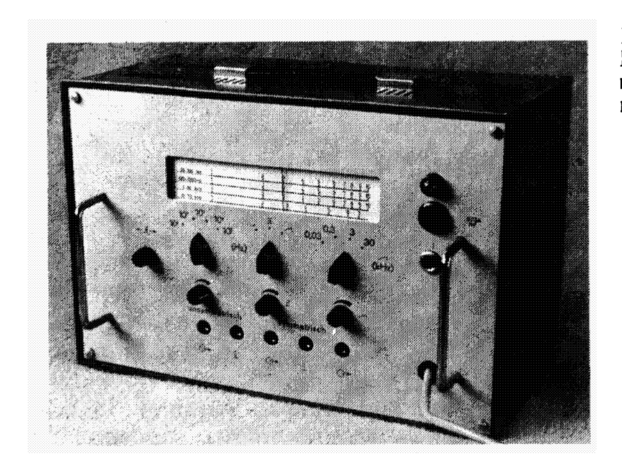


Рис. 245
Генератор синусоидальных и прямоугольных колебаний типа *UVG 1*

7.1. Прибор для проверки транзисторов и диодов

Во многих узлах можно использовать недорогие так называемые радиолюбительские транзисторы, подвергнув их функциональному контролю и рассортировав в зависимости от характеристик (остаточного тока, усиления по току и граничной частоты). Впрочем, перед установкой в схему следует проверять вообще любой схемный элемент. Для этого достаточно простой приставки к универсальному измерительному прибору.

Описываемый ниже прибор предназначен для проверки транзисторов (*p-n-p-* и *n-p-n*-типов), диодов, конденсаторов и резисторов. Речь при этом идет о грубой проверке, иногда даже типа «хороший-плохой», но вполне достаточной при оценке схемных элементов, необходимых для сборки аппаратуры дистанционного управления.

Из большого числа существующих приборов такого типа здесь выбран прибор (рис. 246), собранный с применением очень небольшого количества схемных элементов. Переключая источник питания и стрелочный индикатор, можно замерять характеристики как *p-n-p-*, так и *n-p-n*-транзисторов. В качестве индикатора, как правило, используют универсальный измерительный прибор. Для подключения проверяемых схемных элементов предусмотрены специальные гнезда. Прибором нельзя измерять остаточный ток коллектора, который для германиевых транзисторов составляет менее 0,5 мА, а для кремниевых — менее 1 мкА. При замере усиления по постоянному току h_{21E} ток базы течет через резистор *R1* или через цепочку *R1*, *R2*. Благодаря этому получают два диапазона измерения h_{21E} до 100 и до 500 (при полном отклонении стрелки). Значения h_{21E} можно непосред-

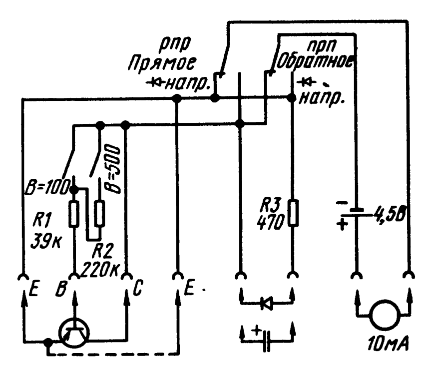


Рис 246
Прибор для проверки транзисторов, диодов, конденсаторов и резисторов

ственно считывать со шкалы прибора. Погрешность измерения при значениях $h_{21к}$ менее 50 не превышает погрешности измерения универсального измерительного прибора.

С учетом того, что в транзисторах некоторых типов *n*- и *p*-зоны расположены в последовательности, отличающейся от нормальной (эмиттер-база-коллектор), на приборе предусмотрены штекерные гнезда двух вариантов. Последовательность зон в гнездах можно изменить с помощью переключателя, что дает возможность определять ток диодов в прямом и обратном направлениях. Кроме того, имеется возможность проверять состояние диэлектрика в электролитических конденсаторах. В зависимости от их емкости ток заряда падает до нуля быстрее или медленнее. Необходимо при этом обращать внимание на полярность конденсатора. При пробое диэлектрика ток через конденсатор не меняет своей величины.

Резисторы и конденсаторы можно оценить только по критерию «хороший-плохой».

7.2. Прибор для проверки сервомеханизмов

При частых проверках сервомеханизмов довольно затруднительно в любом случае вынимать из модели всю аппаратуру и даже устанавливать модель на стол и включать ее. Значительно проще проверить правильность работы сервомеханизмов с помощью специального прибора, позволяющего сразу сделать вывод о том, где находится неисправность — в сервомеханизме или приемнике.

Прибор калибруют по настроенному сервомеханизму. Его можно использовать для контрольной проверки и настройки новых сервомеханизмов, а также поиска неисправностей в них. Кроме того, с его помощью можно осуществлять измерения на сервомеханизмах. Так, при подключении миллиамперметра (со шкалой 500 мА при положении нуля в центре шкалы) к средней точке (+2,4 В) аккумуляторной батареи можно измерять рабочий ток и ток покоя сервомеханизма. Результат измерения позволяет сделать вывод о качестве этого механизма и о его возможных неисправностях.

Ток измеряют при любых положениях тяги руля. Повышенное значение тока покоя может быть вызвано большим трением в рычажном механизме или продолжением работы сервомеханизма в крайнем положении.

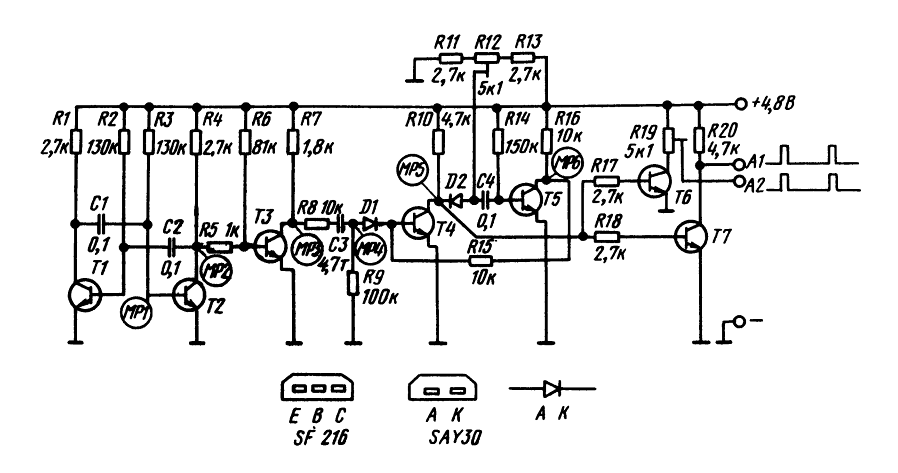


Рис. 247
Первый вариант прибора для проверки сервомеханизмов. Транзисторы *T1—T7* **типа** *SF 216*, **диоды** *D1—D2* *типа SAY 30*

Прибор позволяет также проверять и измерять такие важные характеристики сервомеханизма, как точность отработки команды, точность возврата в исходное положение и скорость перекладки.

Первый вариант прибора для проверки сервомеханизмов (рис. 247) собран на дискретных схемных элементах и содержит уже известные схемные узлы. Автоколебательный мультивибратор, собранный на транзисторах *T1* и *T2*, дает базу времени для импульсов, имеющих различную длительность. Транзистор *T3* работает как формирователь импульсов благодаря перегрузке его тактовыми импульсами. Эта перегрузка позволяет снимать с коллектора транзистора *T3* прямоугольные импульсы почти точной формы, которые дифференцируются цепочкой *C3*, *R9*.

Положительные пики напряжения через диод *D1* позволяют перевести моностабильный мультивибратор в метастабильное состояние. Здесь использован такой же моностабильный мультивибратор, как и в сервоусилителях цифровой аппаратуры. С помощью резистора *R12* устанавливают время опрокидывания этого мультивибратора и, следовательно, длительность выходных импульсов. Эти импульсы поступают на два инверторных каскада, которые преобразуют отрицательные импульсы на коллекторе транзистора *T4* в положительные. Два инверторных каскада позволяют подключать одновременно два сервоусилителя и непосредственно сравнивать настроенный сервоусилитель с новым. Прибор калибруют по настроенному (калиброванному) сервомеханизму. Для подключения аккумулятора (взятого от приемника) и проверяемых сервомеханизмов следует, как и в приемнике, предусмотреть два штекерных разъема.

Вместо моностабильного

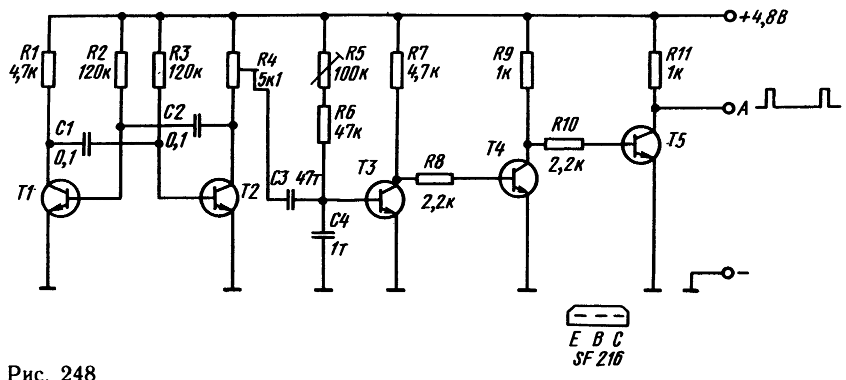


Рис. 248
Второй вариант прибора для проверки сервомеханизмов. Транзисторы *T1—T5* типа *SF 216*

мультивибратора, усложняющего прибор, можно использовать канальные триггерные каскады, применяемые в импульсных блоках передатчиков (рис. 248). Но недостатком этого более простого варианта является меньший диапазон регулирования.

Значительное упрощение схем получают при использовании интегральных схем (рис. 249). Интегральная схема типа *74121* содержит моностабильный мультивибратор, время удержания которого можно изменять в зависимости от частоты при подаче управляющих сигналов на выводы *9*, *10* и *11*. При поступлении сигналов на входы *A1* и *A2* через выводы *3* и *4* схемы моностабильный мультивибратор переходит в отрицательное состояние, а при подаче сигнала на вход *B* через вывод *5* — в положительное. Конденсатор *C2* заряжается положительно и опрокидывает мультивибратор.

При поступлении перемен-

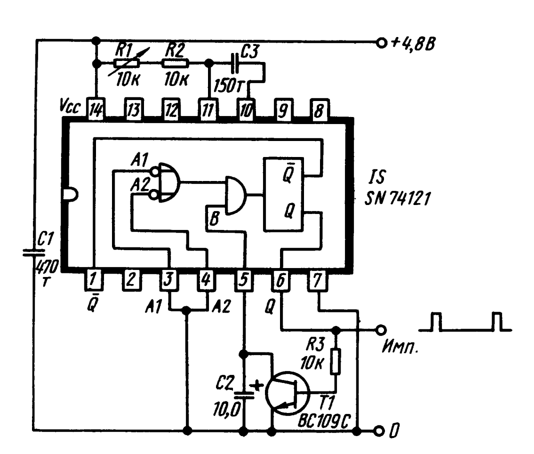


Рис. 249
Прибор для проверки сервомеханизмов, собранный на интегральной схеме

ных по длительности положительных импульсов резистор *R3* и транзистор *T1* образуют для них обратную связь. Тогда транзистор *T1* открывается и через него разряжается конденсатор *C2*. В паузах этот конденсатор снова заряжается положительно и опрокидывает моностабильный мультивибратор.

7.3. Контрольный приемник

В процессе управления модель может выйти из повиновения. Причиной этого может быть как внутренняя помеха — неисправность аппаратуры, так и внешняя — наличие постороннего излучения.

Для выявления внешних помех удобно использовать контрольный приемник. С его помощью помехи устранить нельзя, но так как в большинстве случаев они появляются только на определенных каналах, то, выявив их, можно перейти на другой канал. Учитывая постоянное увеличение числа радиоуправляемых моделей, такое наблюдение за радиообстановкой можно считать целесообразным для своевременного предотвращения потери модели. Приемник, дающий возможность перед стартом убедиться в отсутствии на используемом канале помех и посторонних излучений, значительно повышает надежность управления моделью.

Так как контрольный приемник расположен вблизи земли, где сигналы помех значительно слабее, чем в нескольких метрах от земли, его чувствительность должна быть выше, чем чувствительность приемника, установленного на модели.

Контрольный приемник должен настраиваться на все 12 каналов, чтобы можно было точно определить, какой канал занят. Даже в непосредственной близости от постороннего передатчика он должен выделять каждую из 12 канальных частот.

Для точной индикации посторонних передатчиков достаточно, если в контрольном приемнике имеется возможность регулировать полосу пропускания в диапазоне частот от 5 до 25 кГц. Все эти требования могут быть выполнены только с помощью супергетеродинного приемника, а сверхрегенеративный приемник пригоден для решения ограниченных задач.

7.3.1. Контрольный сверхрегенеративный приемник

Из-за своей очень большой полосы пропускания сверхрегенеративный приемник позволяет сделать вывод лишь о наличии помехи в данной полосе частот, используемой для дистанционного управления моделями, но не о конкретном занятом канале. Во многих случаях такого вывода достаточно. Так как изготовление такого приемника требует очень малых затрат, ниже дан пример его схемы.

В простейшем случае можно использовать узел сверхрегенератора (взятого из отслужившего свой срок приемника дискретных команд), под-

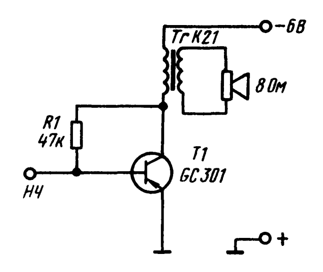
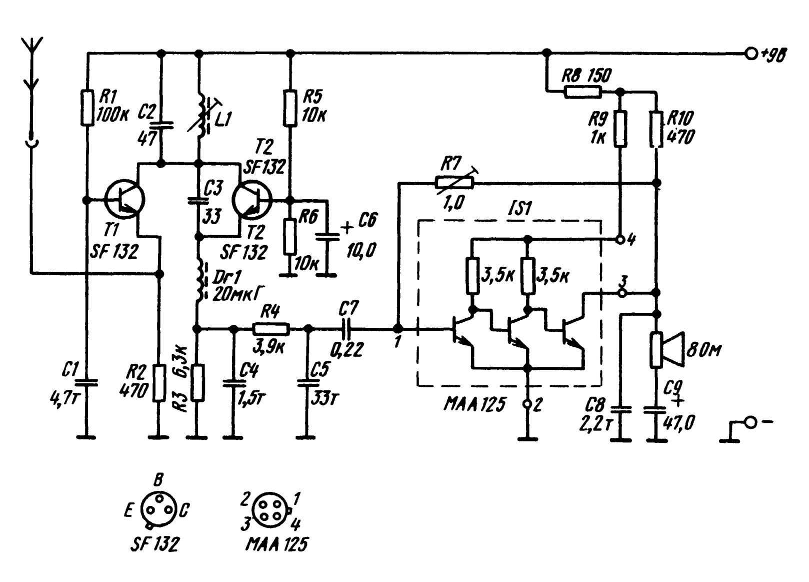


Рис 250
Каскад раскачки громкоговорителя для контрольного сверхрегенеративного приемника

ключив к нему каскад раскачки громкоговорителя (рис. 250). Но такой сверхрегенеративный приемник сам излучает помехи, поэтому его нельзя включать во время управления моделью.

Избавиться от этого недостатка можно при использовании входного каскада усиления высокой частоты. Этот контур препятствует поступлению частоты сверхрегенератора на антенну, благодаря чему появляется возможность использования приемника для постоянного контроля радиообстановки (рис. 251). Входной каскад, собранный на работающем по схеме с общей базой транзисторе *T1*, вместе с транзистором *T2* сверхрегенератора нагружены колебательным контуром *C2, L1*. Работа самого сверхрегенератора была рассмотрена выше (см. раздел 4.2.2.3). Для сборки усилителя низкой частоты использована трехкаскадная интегральная схема, усиление которой достаточно велико, чтобы без трансформатора расскачать громкоговоритель. Рабочую точку интегральной схемы устанавли-

Рис. 251
Контрольный сверхрегенеративный приемник. Длина антенны составляет 80 100 см. Катушка *L1* диаметром 7 мм имеет 9 витков медного покрытого эмалью провода диаметром 0,5 мм



вают подстроечным резистором *R7*. Регулирование громкости не предусмотрено, так как сама громкость является мерой интенсивности помехи.

7.3.2. Контрольный супергетеродинный приемник

Супергетеродинный контрольный приемник *RC27S* (рис. 252) отвечает всем перечисленным в разделе 7.3 требованиям. Он имеет большую чувствительность по высокой частоте (примерно 2 мкВ), регулируемую полосу пропускания и возможность переключения на любой из 12 каналов полосы частот 27, 12 МГц.

В отличие от схем супергетеродинных приемников, предназначенных для дистанционного управления, в контрольном приемнике на транзисторе *T1* собран входной каскад. Телескопическая антенна индуктивно связана с входным колебательным контуром *L1, C2* и согласована с ним посредством выбора соотношения числа витков в катушке *L1*. Нагрузкой входного каскада по переменному току является последовательный колебательный контур *C4, L2*. Преобразовательный каскад не имеет никаких особенностей по сравнению со схемами, рассмотренными в разделе 4.2.2.

Для настройки контрольного приемника на требуемый канал используют не стабилизированный кварцевым резонатором генератор, а плавно перестраиваемый *LC*-генератор. Это позволяет проверять на наличие помех всю полосу частот, используемых для дистанционного управления. Колебания напряжения питания гетеродина не влияют на частоту, так как оно стабилизировано. Для обеспечения высокой температурной стабильности приемника схемные элементы, определяющие частоту гетеродина, должны иметь небольшой температурный коэффициент.

Настройка гетеродина и, следовательно, контрольного приемника на частоту канала производится переменным резистором *R23*.

С помощью резистора *R10* полосу пропускания усилителя промежуточной частоты можно сузить до 5 кГц. Это позволяет настроиться точно на частоту источника помехи и определить границы его излучения. Второй каскад усиления промежуточной частоты собран на интегральной схеме. За счет этого получают высокое усиление на каскад при очень надежной стабильности и отсутствии обратной связи.

При сборке приемника в качестве интегральной схемы *IS1* можно использовать схему типа *MA 3005* фирмы *Tesla* или заменить ее транзистором типа *SF132*. Усилитель низкой частоты собран на трехкаскадной интегральной схеме типа *TAA 111* (можно заменить схемой типа *MAA 125*). При усилении 65 дБ сигнал на выходе достаточен для раскачки громкоговорителя. АРУ усилителя промежуточной частоты и регулирование громкости не предусмотрено, так как громкость должна быть мерой интенсивности помехи. Но громкогово-

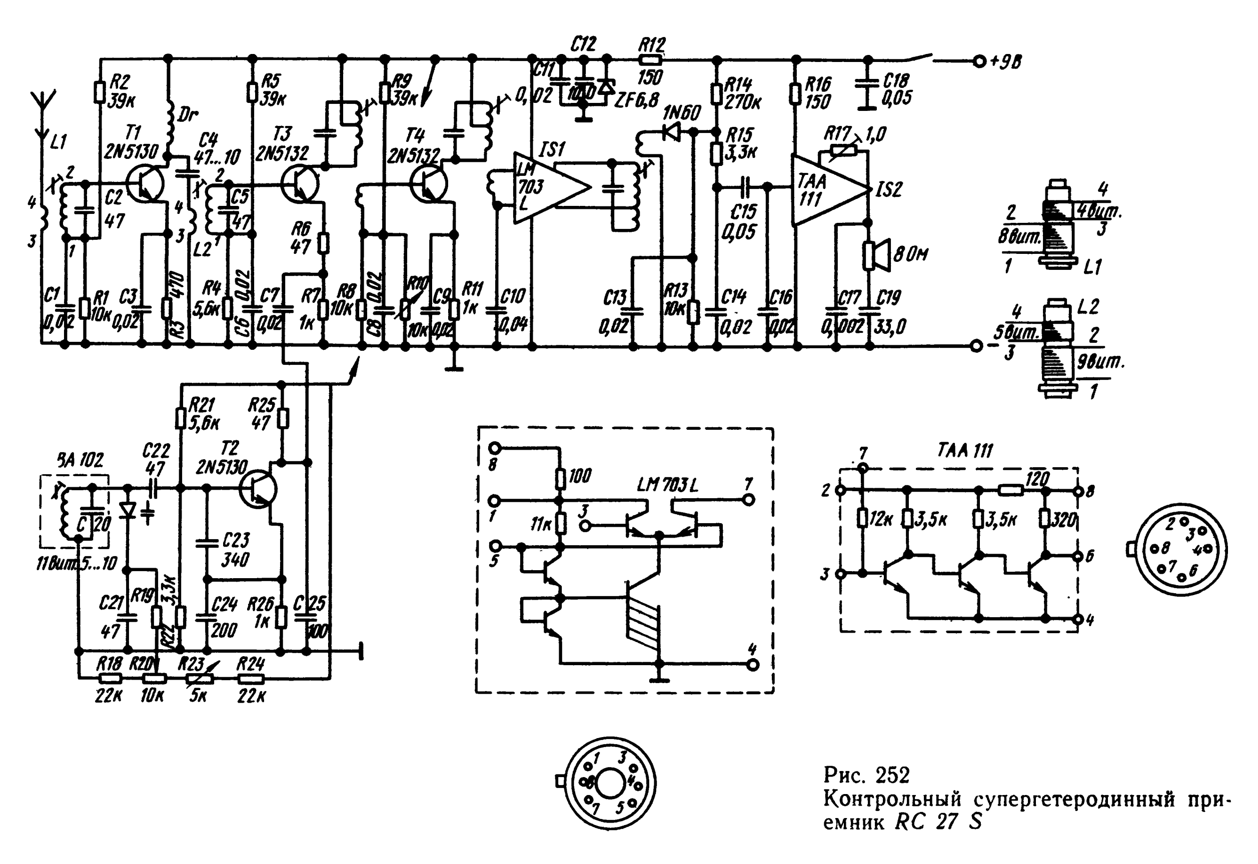


Рис. 252
Контрольный супергетеродинный приемник *RC 27 S*

ритель можно регулировать косвенно — с помощью регулятора полосы пропускания *R10*.

Эти относительно простые контрольные приемники могут быть собраны с помощью средств и схемных элементов, используемых и для сборки аппаратуры дистанционного управления. Несомненно, их преимущества оценят все моделисты.

Разработаны также значительно более сложные приборы для слежения за радиообстановкой в полосе частот 27,12 МГц, начиная от приборов осциллографического наблюдения до приборов полного анализирования каналов.

7.4. Электронный тахометр

Для оптимальной нагрузки двигателя большое значение имеет знание его частоты вращения. По известной частоте вращения с помощью графика можно определить мощность или крутящий момент электродвигателя или двигателя внутреннего сгорания. Задача измерения частоты вращения двигателя модели усложняется требованием отсутствия механического воздействия на двигатель в процессе измерения. Решить ее можно с помощью бесконтактного тахометра.

Вращающуюся часть двигателя, даже вызывающую лишь очень малые колебания яркости освещения, можно разместить около фоторезистора (рис. 253). Сопротивление фоторезистора будет изменяться в такт с изменением яркости

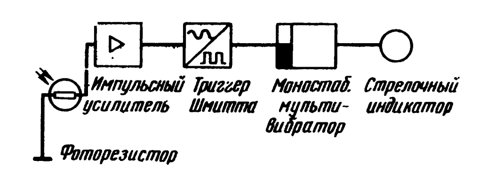


Рис. 253
Блок-схема электронного тахометра

его освещения. Как правило, эти изменения яркости имеют различную величину, что приводит к получению остроконечных импульсов различной длительности.

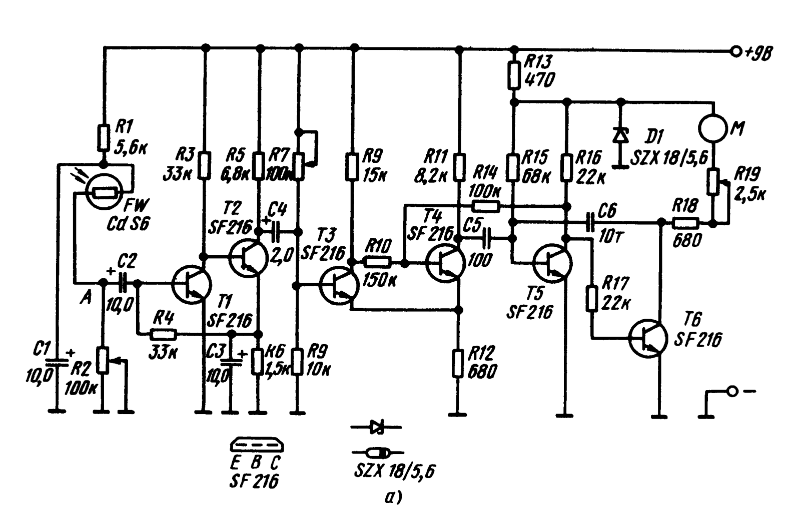
При измерениях с интегрированием форма усиленных импульсов может существенно повлиять на результат измерения. Чтобы форма не зависела от величины амплитуды на входе, импульсы со входа подают на триггер Шмитта, на выходе которого появляются прямоугольные импульсы правильной формы и одинаковой амплитуды. Правда, длительность импульсов может быть различной. Поэтому сформированные триггером Шмитта прямоугольные импульсы подают на моностабильный мультивибратор, с выхода которого снимаются также прямоугольные импульсы, но точно определенной длительности, которая зависит только от постоянной времени моностабильного мультивибратора.

На входе бесконтактного электронного тахометра (рис. 254) установлен фоторезистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от яркости падающего на него света. Напряжение питания 9 В через резисторы *R1* и *R2*

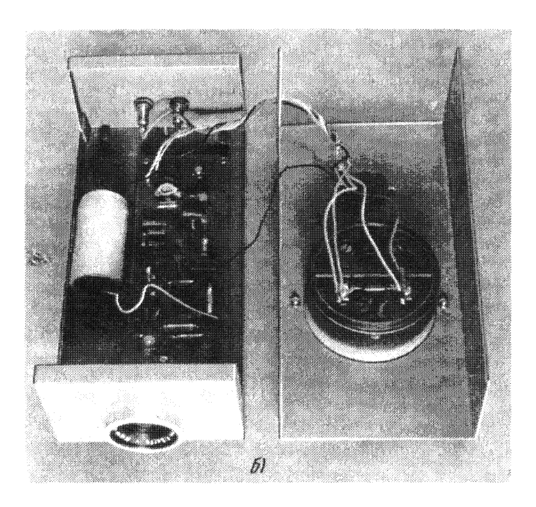
подается на фоторезистор, из-за изменения сопротивления которого в точку *А* поступают переменная и импульсная составляющие напряжения. Оптимальную рабочую точку фоторезистора можно установить с помощью подстроечного резистора *R2*.

Выход фоторезистора подключен к двухкаскадному усилителю. Первый каскад усиления представляет собой динамически управляемый инвертор. С помощью статического управления, гальванической связи транзистора *T2* и относительно большого сопротивления резистора *R6* в цепи эмиттера, а также обратной связи с базой транзистора *T1* (через резистор *R4*) обеспечена очень высокая температурная стабильность рабочей точки двухкаскадного импульсного усилителя. Усиленные таким образом импульсы через конденсатор *C4* динамически управляют работой триггера Шмитта. Триггер Шмитта из довольно различных (в зависимости от условий измерения) по амплитуде и длительности импульсов формирует прямоугольные импульсы правильной формы, имеющие крутые фронты. Рабочую точку этого триггера можно точно установить с помощью подстроечного резистора *R7*.

Для динамического управления моностабильным мультивибратором полученные таким образом прямоугольные импульсы с помощью цепочки *C5*, *R15* преобразуются в остроконечные импульсы. При поступлении остроконечного импульса на базу транзистор *T5* переходит в рабочее состояние. Благодаря соответствующему выбору номиналов конденсаторов *C6* и резистора *R15* постоянную времени моностабильного мультивибратора получают такой малой, что даже при большой частоте вращения каждый приходящий импульс



а)



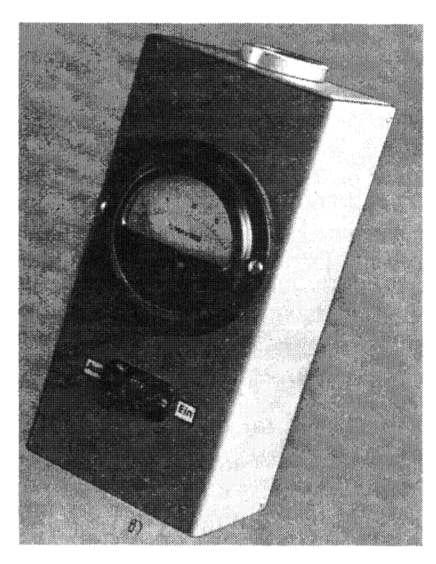


Рис. 254
Электронный тахометр: *а* — принципиальная схема; *б* — размещение элементов; *в* — внешний вид

переводит мультивибратор в рабочее состояние. С помощью резистора *R15* рабочую точку транзистора *Т5* при этом устанавливают так, чтобы при отсутствии сигнала на входе он находился в открытом состоянии.

Стрелочный индикатор *М* можно включить непосредственно в коллекторную цепь транзистора *Т6*, являющегося вторым транзистором моностабильного мультивибратора. При отсутствии сигнала на входе *Е* транзистор *Т6* находится в запертом состоянии и в его коллекторной цепи течет исчезающе малый остаточный ток, составляющий несколько нА. Обладающий малой чувствительностью стрелочный индикатор, рассчитанный на максимальный ток 1 мА, этот ток вообще не индицирует. Когда световые импульсы начнут поступать на фоторезистор, индикатор покажет интегральную оценку их частоты.

Коллекторный ток транзистора *Т6* состоит из дважды сформированных прямоугольных импульсов определенной амплитуды и длительности. Чем длиннее импульсы, тем больше ток, текущий через коллектор транзистора *Т6*, т. е. величина этого тока прямо пропорциональна числу поступающих импульсов и поэтому может быть использована для

измерения частоты их появления. Но частота появления световых импульсов прямо пропорциональна частоте вращения двигателя. Для обеспечения работы индикатора при падающем напряжении батареи напряжение питания для моностабильного мультивибратора стабилизировано стабилитроном *D1* и резистором *R13*.

При самостоятельном изготовлении тахометра (рис. 254) следует по возможности выдержать указанные номиналы схемных элементов, допуская лишь небольшие отклонения от них. Для усиления светового воздействия на фоторезистор перед ним на торцевой стенке прибора устанавливают фокусирующее устройство с собирающей линзой диаметром примерно 20 мм, имеющей фокусное расстояние 35—50 мм. Линзу юстируют так, чтобы при взгляде на линзу с расстояния 25—30 см появилось четкое изображение фоторезистора. Для предотвращения срабатываний тахометра под воздействием случайных отражений и боковой засветки линза закрыта черненной внутри блендой длиной 20 мм. Линзу можно взять от небольшой лупы и вклеить ее непосредственно в бленду. Для облегчения юстировки фоторезистор выполняют смещающимся в направлении оси линзы. Корпус тахометра изготовляют из дюралюминиевого листа.

Питание тахометр получает от батареи напряжением 9 В, фиксируемой в корпусе пружинными зажимами. Стрелочный индикатор и выключатель установлены на крышке тахометра и соединены со схемой многожильными проводами.

Возможности тахометра могут быть расширены с помощью подключения клемм стрелочного индикатора через балластный резистор сопротивлением 20 кОм к двум измерительным гнездам. Появляется возможность с помощью тахометра измерять напряжения до 20 В, что очень удобно при поиске неисправностей в аппаратуре. Если разбить шкалу индикатора, соответствующую (при полном отклонении стрелки) 20 000 об/мин, на 20 равных частей, то эту разбивку удобно использовать и для измерения напряжений (стрелка полностью отклоняется при напряжении 20 В). Для тахометра с внутренним сопротивлением 100 Ом и полным отклонением стрелки индикатора, соответствующим 1 мА, резистор в цепи измерения напряжения должен иметь сопротивление 20 кОм.

Настройку тахометра осуществляют следующим образом. Подстроечным резистором *R2* устанавливают рабочую точку фоторезистора. Для этого при затемненном фоторезисторе изменяют напряжение в точке *E* так, чтобы оно составило около половины напряжения питания. Чтобы установить рабочую точку триггера Шмитта, его настраивают до получения заданных электрических параметров на выводах транзисторов *T3* и *T4* или с помощью резистора *R7* добиваются полного отклонения стрелки инди-

катора при подаче сигнала на вход.

Для калибровки тахометра можно использовать сеть переменного тока, имеющего частоту 50 Гц. В течение одного периода ток получает два максимальных значения: положительное и отрицательное. Это означает, что колебания яркости лампы накаливания, включенной в эту сеть, имеют частоту 100 Гц, т.е. составляют 6000 импульсов света в 1 мин. Фокусирующее устройство тахометра направляют на лампу и потенциометром *R19* устанавливают стрелку индикатора на деление «6000 об/мин». Так как магнитоэлектрическая система имеет линейную характеристику, на шкалу можно нанести также деления «10 000 об/мин», даже «20 000 об/мин».

При измерении тахометром частоты вращения двигателя авиамодели необходимо помнить, что за один оборот коленчатого вала двигателя двухлопастный пропеллер дает два световых импульса, т. е. прибор покажет частоту вращения, вдвое превышающую частоту вращения двигателя.

7.5. Генератор синусоидальных и прямоугольных колебаний

Для точной настройки аппаратуры, в которой используется низкочастотное кодирование, необходим плавно перестраиваемый генератор синусоидальных колебаний, который можно использовать и для других целей, например, для настройки усилителей низкой частоты.

Генератор синусоидальных колебаний собирают по схеме моста Вина на транзисторах *T1, T2* и *T3* (рис. 255). Сдвоенный потенциометр *R1/R2* предназначен для плавного изменения частоты. Переключение на любой из четырех частотных диапазонов (10—100 Гц, 0,1—1 кГц, 1—10 кГц или 10—100 кГц) производится переключением конденсаторов *C1—C8*. Выходное напряжение можно изменять скачкообразно (6 В, 0,6 В и 60 мВ) с помощью резисторов *R11, R12* и *R13,* а для точной подстройки напряжения предназначен потенциометр *R25*. Потенциометром *R4* регулируют амплитуду выходного напряжения и корректируют форму сигнала. Во всем диапазоне амплитуда должна оставаться примерно постоянной.

Для настройки иногда необходимы колебания правильной прямоугольной формы (с большим содержанием гармоник), с помощью которых можно оценить передаточную характеристику усилителя низкой частоты. Чтобы получить колебания такой формы, к выходу генератора синусоидальных колебаний подключают триггер Шмитта, собранный на транзисторах *T4* и *T5*. Рабочую точку триггера Шмитта устанавливают потенциометром *R15,* изменяя симметрию колебаний прямоугольной формы. Как и тональные генераторы передатчика дискретных команд, генератор синусоидаль-

ных и прямоугольных колебаний настраивают с помощью калиброванного генератора низкой частоты и осциллографа.

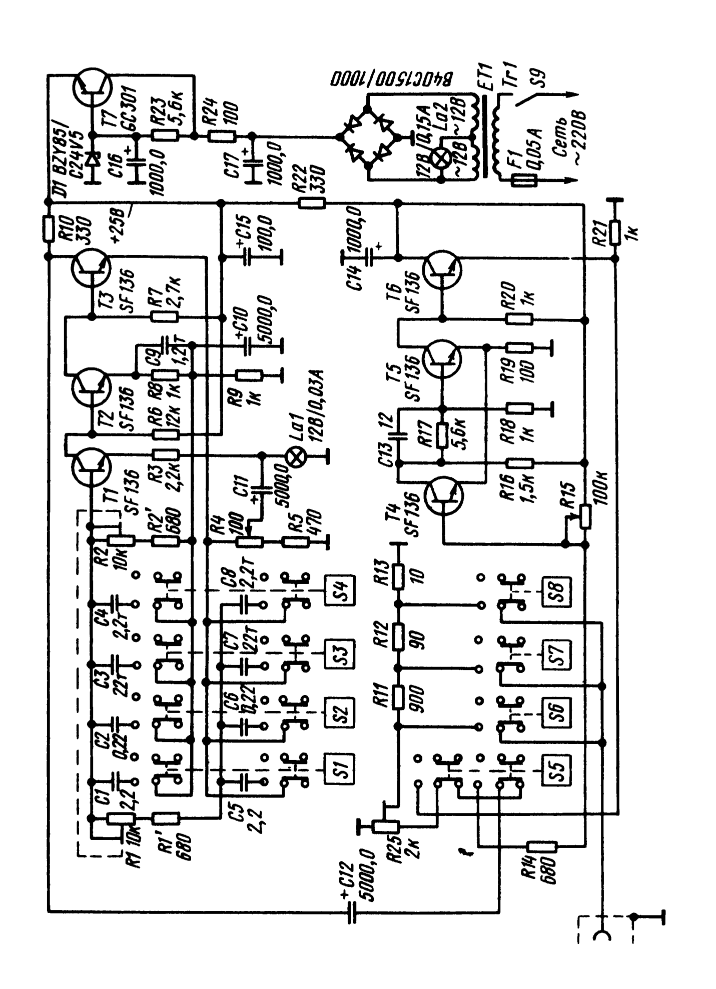


Рис. 255
Генератор синусоидальных и прямоугольных колебаний

8. Приложение

8.1. Примеры схем аппаратуры дистанционного управления моделями

Вопросы дистанционного управления моделями с помощью электронной аппаратуры рассмотрены в предыдущих разделах на примерах типовых схемных решений. Примеры дают представление о множестве проблем, которые необходимо решать при самостоятельной разработке и постройке аппаратуры дистанционного управления. При этом следует отметить, что для работы в полосе частот 27,12 МГц промышленность выпускает аппаратуру высокого качества, которого нельзя добиться в любительских условиях. Поэтому фактически можно заниматься только совершенствованием этой аппаратуры, не создавая самодельной. Иное дело разработка аппаратуры для еще мало исследованного диапазона частот 433 МГц, а также устройств светового, ультразвукового и индуктивного управления. Здесь широкое поле для творчества моделистов.

Работы по обслуживанию аппаратуры, которые может выполнить сам моделист, во многих случаях включают и ремонт аппаратуры, для которого необходимо иметь ее точную принципиальную электрическую схему. Бóльшая часть аппаратуры, особенно самодельной, рассмотрена в предыдущих разделах в качестве примеров работы тех или иных схемных узлов. Здесь материал дополнен схемами, которые помогут моделистам при ремонте аппаратуры. В основном этот раздел представляет собой краткий обзор схем и содержит очень мало указаний по производству ремонта.

8.1.1. Аппаратура *Junior*

Эта аппаратура относительно проста и рекомендуется для установки на судомоделях. Она относится к категории аппаратуры дискретного дистанционного управления (5 каналов) и обеспечивает дальность действия около 100 м, а при благоприятных условиях распространения волн — до 400 м.

Особенностью передатчика *Junior 5* (рис. 256) является использование в нем в качестве задающего *LC*-генератора свободных колебаний. Выполнение высокочастотного блока передатчика трехкаскадным позволило обеспечить хорошую температурную стабилизацию при малой нагрузке *LC*-генератора и выдерживать допуск на отклонение частоты в пределах 27,12 МГц±0,6%. Генератор низкой частоты собран на транзисторе *T4* по схеме Колпитца. Индуктивности для пяти колебательных контуров, настроенных на канальные часто-

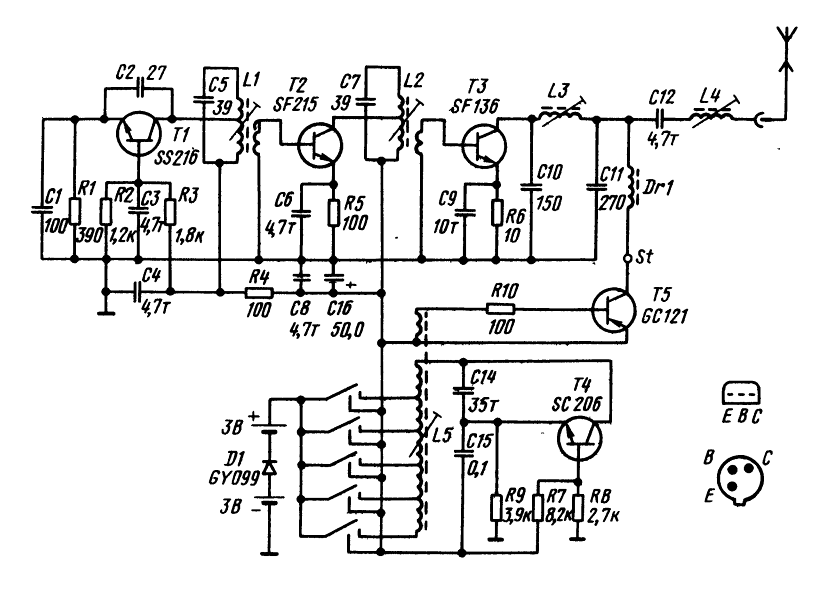


Рис. 256
Передатчик *Junior 5*

ты (см. табл. 6), получены с помощью отводов от катушки *L5*. Следовательно, настройка отдельно на каждый канал невозможна. Модулятор собран на транзисторе *T5* и индуктивно связан с генератором низкой частоты через часть обмотки катушки *L5*. Диод *D1* установлен для предотвращения повреждения схемы при неправильном включении батареи питания.

Передатчик *Junior 5* имеет следующие технические характеристики:

максимальная выходная мощность 100 мВт при сопротивлении антенны 40 Ом;

напряжение питания 6 В;

источник питания — две цилиндрические батареи типа *BCT 3;*

потребляемый ток 25—30 мА;

длина телескопической антенны 1,1 м;

температура окружающей среды от −10 до +50° С;

габариты 113×93×43 мм;

масса в рабочем состоянии 320 г.

Приемник *Junior 70* представляет собой традиционный сверхрегенеративный приемник на кремниевых транзисторах (см. раздел 4.2.2.3).

В «черном» модуле кроме приемника размещен также и первый каскад переключения (рис. 257). «Красный» (каналы 2/3) и «белый» (каналы 4/5) каскады переключения соединяются с модулем приемника с помощью штекерных разъемов. При установке аппаратуры на судомодели дополнительно можно использовать «голубой» коммутирующий

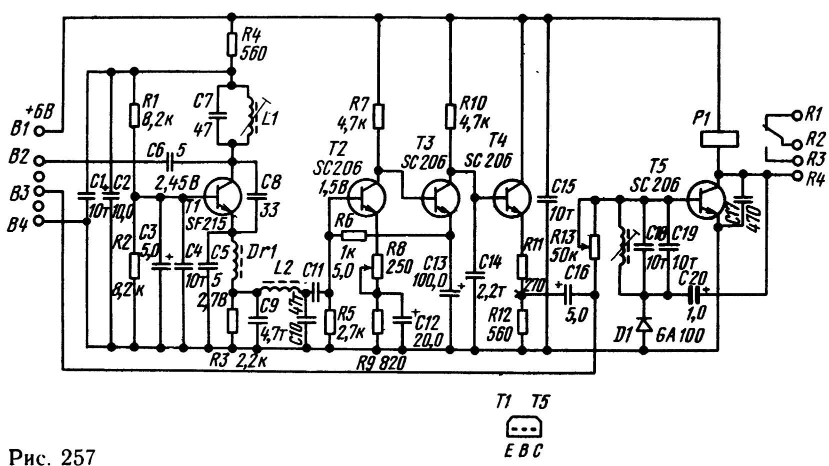


Рис. 257
Приемник *Junior 5*. Значения постоянных напряжений замерены при отсутствии сигнала с помощью прибора, имеющего сопротивление 100 кОм/В, резистор *R3* находился при этом в среднем положении

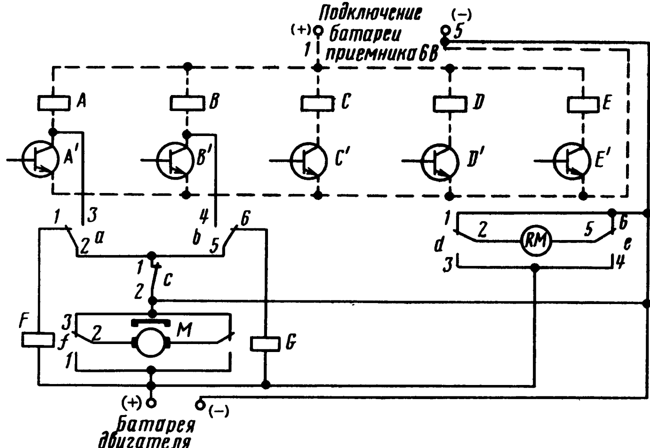


Рис. 258.
Коммутирующий каскад для судомодели

каскад, который выполняет функцию выдерживания ходовых команд (рис. 258).

Сборка модулей приемника для судомодели показана на рис. 259. В качестве рулевых машинок для приемника *Junior 70* пригодны рулевые машинки от любой аппаратуры дискретного управления (см. рис. 23, 24).

Технические характеристики приемника *Junior 70:*

обозначение — *Junior 70*, окраска корпуса — черная;

рабочая частота 27,12 МГц; частота модуляции 2,5 кГц;

чувствительность менее 10 мкВ;

температура окружающей среды от −10 до +50°C;

потребляемый ток без сигнала 7 мА, с сигналом 22 мА;

габариты 97×49×25 мм;

масса 65 г.

Технические характеристики каскадов переключения для приемника *Junior 70:*

каскад *Junior 70A*, корпус черный, частоты модуляции 1,54 и 2,0 кГц;

каскад *Junior 70B*, корпус белый, частоты модуляции 3,0 и 3,67 кГц;

потребляемый ток без сигнала 10 мкА, с сигналом 15 мА;

типы полупроводников: 2× ×*SC 206*, 2×*GY099;*

габариты 97×49×25 мм;

масса 72 г.

8.1.2. Двухканальная аппаратура пропорционального дистанционного управления *Miniprop*

Эта аппаратура, выпускаемая фирмой *Graupner*, имеет некоторые интересные технические особенности. Схема передатчика (рис. 260) содержит генератор тактовых импульсов (на транзисторах *T3* и *T4*) и включенные последовательно триггерные каскады (на транзисторах *T5* и *T6*).

Полученные после дифференцирования остроконечные импульсы после прохождения через диоды *D2-D5* поступают непосредственно на транзистор модулятора *T2*. Благодаря этому отпадает необходимость в обычно используемом моностабильном мультивибраторе для формирования импульсов. Модуляция осуществляется манипуляцией генератора.

Оконечный каскад, собранный на транзисторе *T7*, имеет индуктивную связь с генератором и работает на простой П-фильтр. Этого достаточно, чтобы при небольшой выходной мощности передатчика (около 140 мВт) получить требуемое подавление гармоник. Питание передатчика возможно от шести цилиндрических

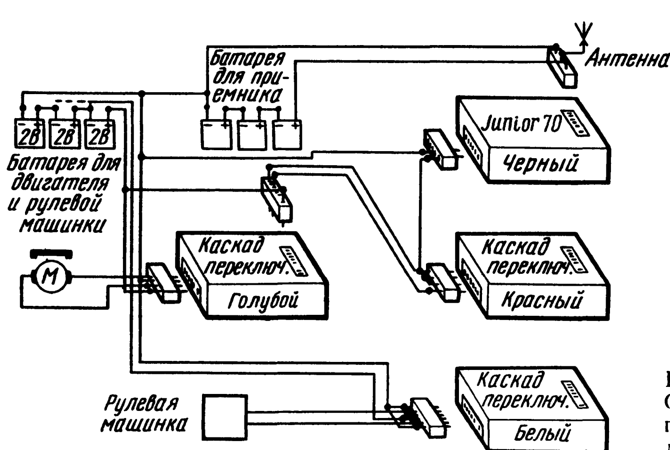


Рис. 259
Сборка модулей приемника для судомодели

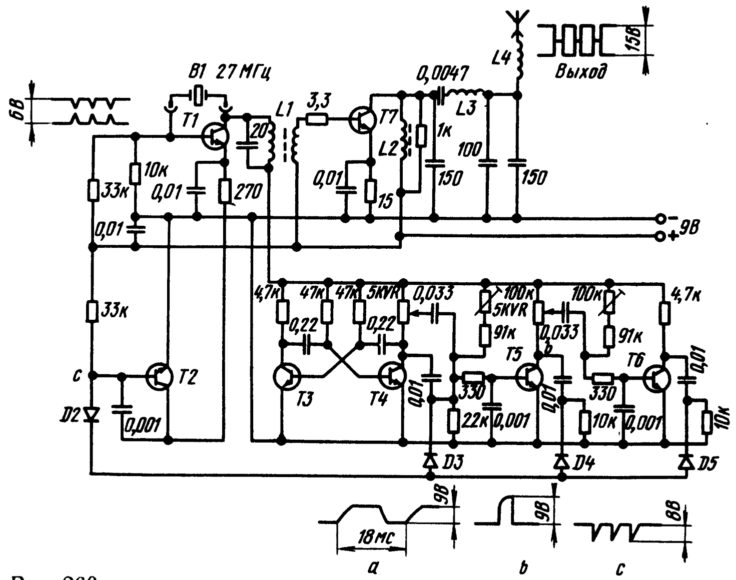
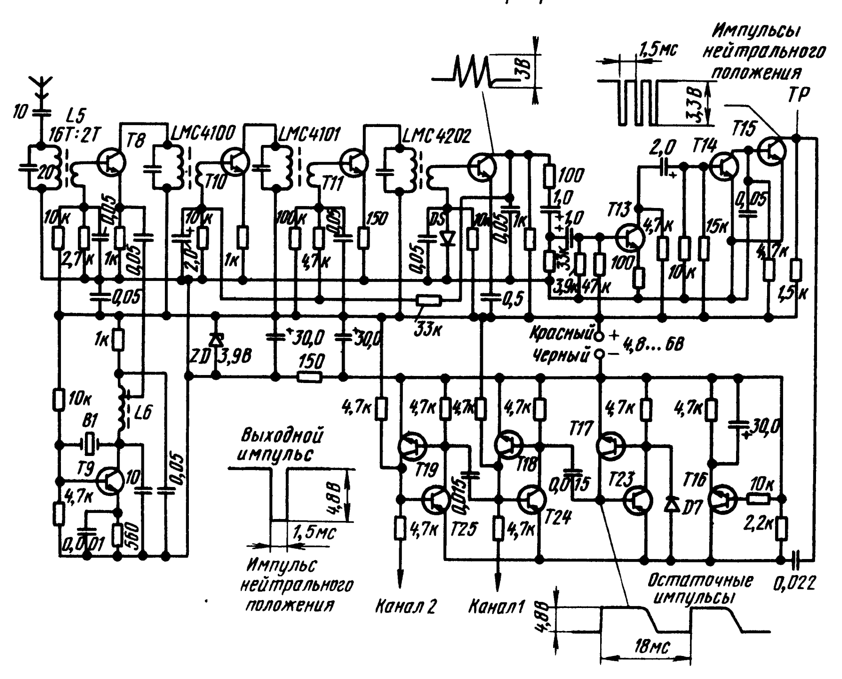


Рис. 260
Двухканальный цифровой передатчик *Miniprop*

Рис. 261
Двухканальный цифровой приемник *Miniprop*



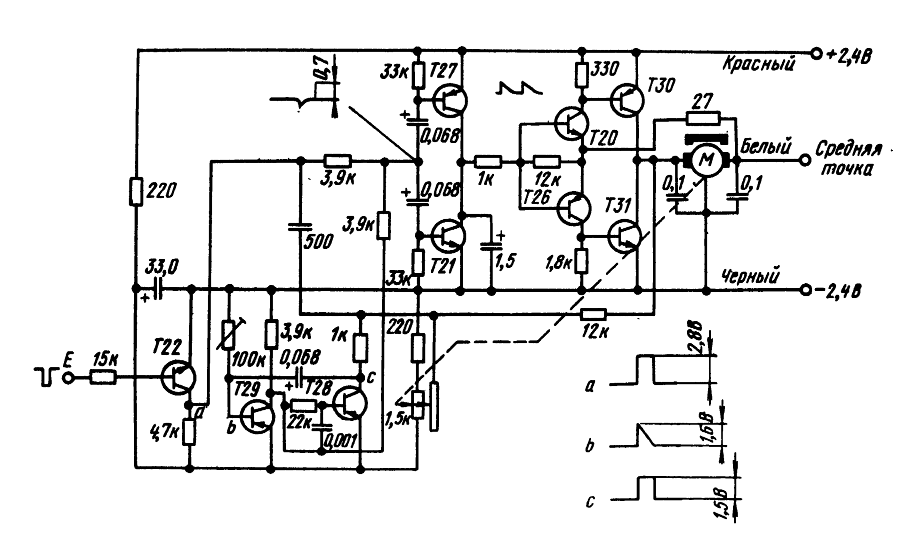
батарей типа *R6* или от шести никелево-кадмиевых аккумуляторов, имеющих такие же размеры. Стабилизация напряжения питания импульсного блока не предусмотрена.

Приемник (рис. 261) собран на обычных схемных элементах. Супергетеродин имеет стандартную схему (см. рис. 156). Колебательный контур на входе может обеспечивать меньшую, чем в двухконтурном варианте, помехозащищенность по зеркальной частоте, но не меньшую чувствительность. Регистр сдвига, собранный по равноценной четырехслойному диоду схеме, отделяет импульсы.

В отличие от обычно используемых схем развязка канальных импульсов здесь выполнена высокоомной, поэтому необходим согласующий каскад (на транзисторе *T22*), установленный на входе сервоусилителя (рис. 262). Так как транзистор *T22* изменяет полярность импульсов, генератор опорных импульсов собран на кремниевых *p-n-p*-транзисторах *T28, T29*.

Каскад сравнения и оконечный каскад сервоусилителя выполнены по стандартной схеме. Питание приемника может осуществляться от четырех цилиндрических батарей типа *R6* или такого же количества никелево-кадмиевых аккумуляторов 1,2 В/500 мА · ч. Аппаратура обеспечивает передачу команд по двум каналам. Этого вполне достаточно для управления моделями автомобилей, планеров, парусных и моторных яхт.

Рис. 262
Сервоэлектроника *Miniprop*



8.1.3. Аппаратура *Microprop*

Схема передатчика (рис. 263) *Microprop* очень похожа на схему передатчика аппаратуры *Multiplex-Royal*. Подключение через штекерный разъем приставки позволяет увеличить число каналов с четырех до шести. Для получения большой выходной мощности высокочастотный блок выполнен трехкаскадным. Двойной П-фильтр в высокочастотном блоке обеспечивает эффективное подавление гармоник при выходной мощности порядка 0,6-0,9 Вт. Высокочастотный и импульсный блоки собраны на одной плате.

Усовершенствованным вариантом передатчика *Microprop-Sport 6* является передатчик *Microprop-Professional*. Изменение пути перекладки сервомеханизма в передатчике *Professional* (рис. 264) производится без изменения высокочастотного блока в передатчике с амплитудной модуляцией.

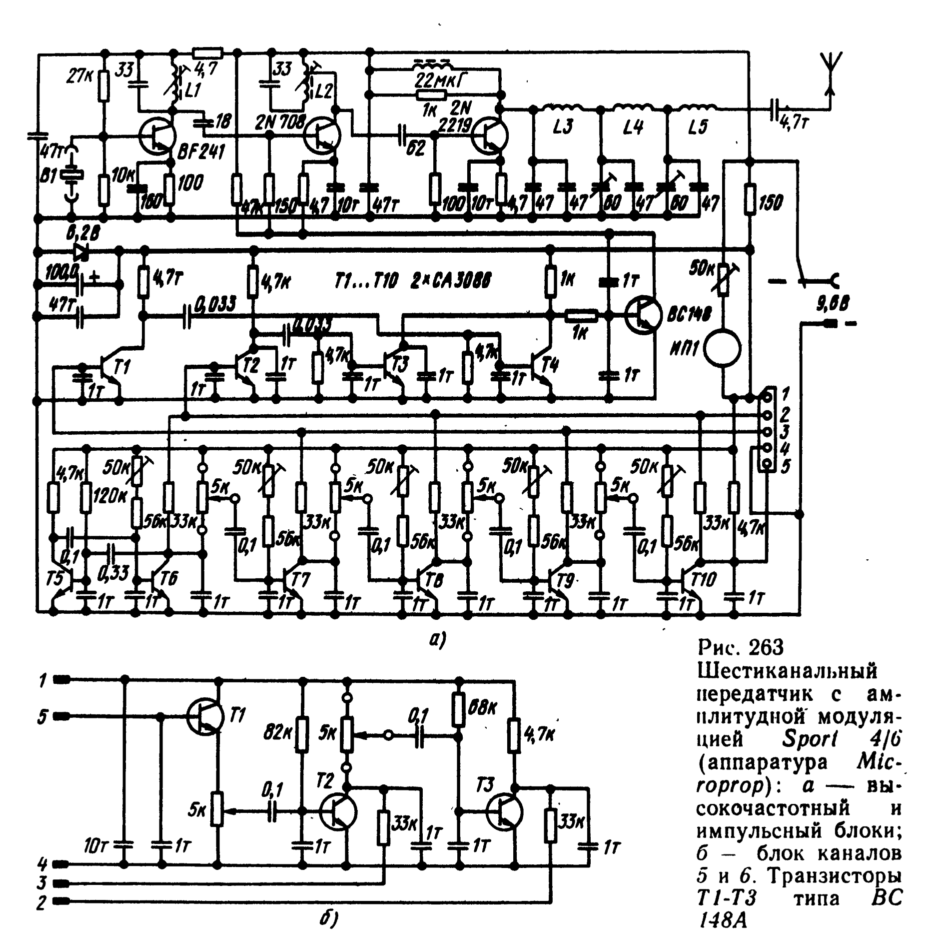


Рис. 263 Шестиканальный передатчик с амплитудной модуляцией *Sport 4/6* (аппаратура *Microprop*): *а* — высокочастотный и импульсный блоки; *б* — блок каналов *5* и *6*. Транзисторы *T1-T3* типа *BC 148A*

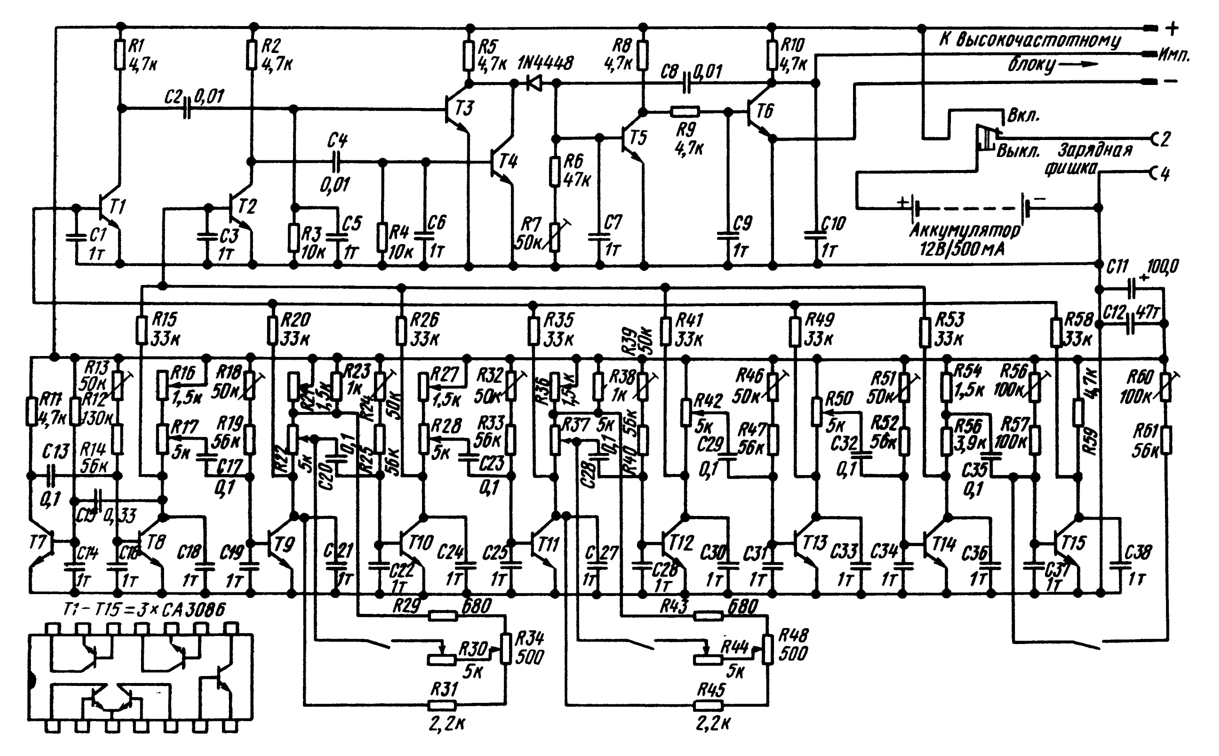


Рис. 264
Импульсный блок передатчика с амплитудной модуляцией *Professional* (аппаратура *Microprop*)

Предельные углы перекладки двух рулевых машинок ограничивают с помощью подключения комбинации резисторов к канальным потенциометрам. Ограничение может составлять от 50 до 95% всего пути перекладки.

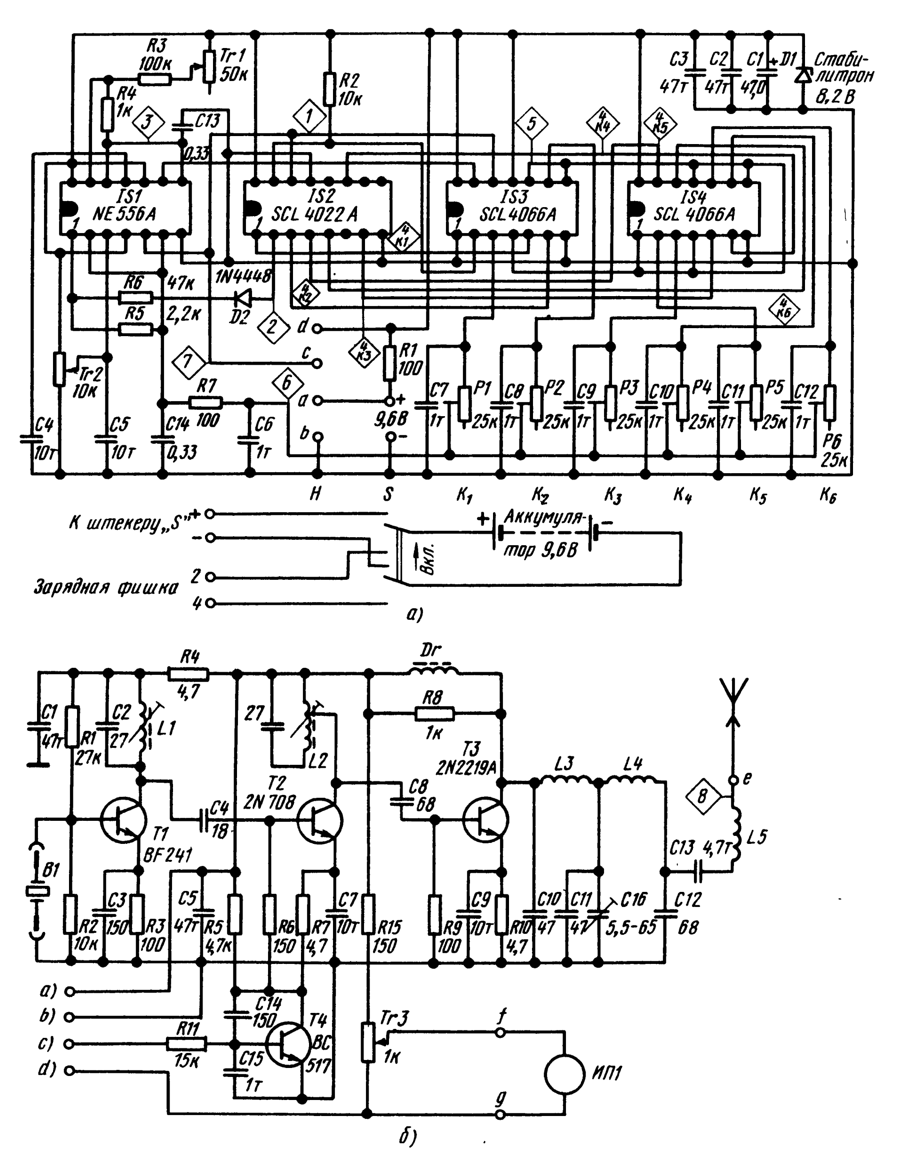
Развитие аппаратуры дискретного управления идет по пути все большего применения интегральных схем. Появляются различные варианты, рассчитанные на сохранение системы цифрового пропорционального управления, что позволяет совмещать передатчики, приемники и исполнительные устройства, такие как сервомеханизмы, регуляторы хода, парусные лебедки и т. д., выпущенные одним изготовителем в разные годы. Стандартные интегральные схемы, использованные в импульсных блоках передатчика и приемника, собраны на дополняющих МОП-структурах. По сравнению с маломощными транзисторными логическими схемами каждая ячейка интегральной схемы на дополняющих МОП-структурах потребляет меньшую в 10^3 раз мощность, равную лишь 2,5 нВт. Использование этих структур обеспечивает выгодный баланс мощностей передатчика и приемника. Пороговое напряжение ячейки, дополняющей МОП-структуры, равно примерно половине напряжения питания и обеспечивает высокую помехозащищенность при почти идеальной передаточной характеристике и очень низкой температурной зависимости.

В комплекте для самостоятельной сборки аппаратуры *Microprop-Proportional* импульсный блок передатчика (рис. 265, *а*) содержит четыре интегральные схемы и несколько внешних схемных элементов.

Интегральная схема *IS1* представляет собой сдвоенную синхронизирующую схему. Одна синхронизирующая схема работает в качестве генератора тактовых импульсов для посылки импульсов, а другая играет роль интегратора канальных импульсов. Время такта для посылки импульсов задается переменным резистором-триммером *Tr1* и равно 30 мс. С помощью триммера *Tr2* пределы изменения длительности канального импульса можно варьировать до значения ± 0,5 мс.

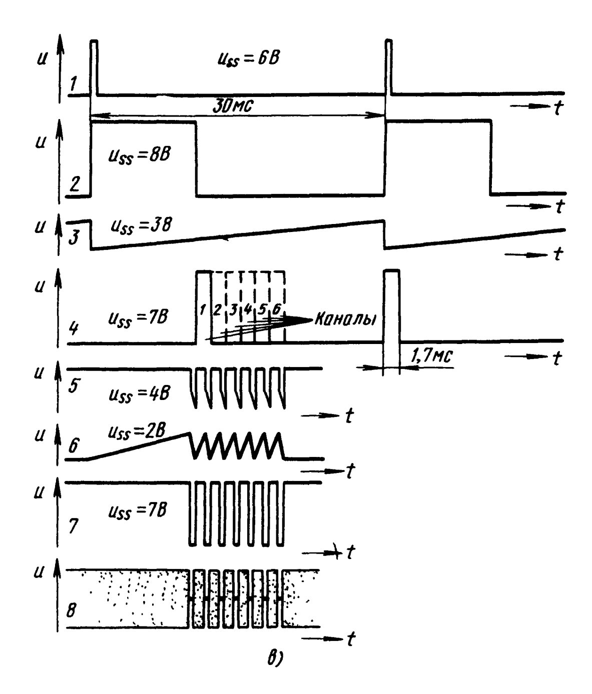
Нейтральные положения каждого канала, достигаемые при длительности канального импульса 1,7 мс, получают поворотом осей или корпусов канальных потенциометров *P1*—*P6*. Так как интегратор используется для всех шести каналов, настройка пределов изменения длительности канального импульса необходима только для первого канала.

Как и при транзисторных триггерных каскадах, в импульсном блоке передатчика нейтральное положение и пределы изменения длительности канального импульса оказывают взаимное влияние, поэтому для точной настройки обоих положений необходимо производить настройку попеременно триммером *Tr2* и потенциометром *P1*. Для формирования отдельных канальных импульсов ка-



нальные потенциометры *P1-P6* через двусторонние выключатели на дополняющих МОП-структурах (типа *4006*) соединяют через восьмеричный счетчик на таких же структурах (типа *4022*) с интегратором (типа *NE 556*). Этот комплект

Рис. 265
Шестиканальный передатчик с амплитудной модуляцией *Proportional 4/6* (аппаратура *Microprop*): *a* — импульсный блок; *б* высокочастотный блок; *в* — импульсные диаграммы



в)

аппаратуры с амплитудной модуляцией можно полностью настроить с помощью простейших средств.

Высокочастотный блок (передатчик) (рис. 265, *б*) выполнен трехкаскадным и мало отличается от блока, показанного на рис. 263. Этот блок, также как и импульсный, собран на отдельной плате.

Большая загрузка полосы частот 27,12 МГц, сильно возросшее количество радиотелефонных устройств, работающих в этой полосе, привели к введению в 1976 г. интервала между каналами, равного 10 кГц, и к разработке узкополосной аппаратуры, обладающей повышенной помехозащищенностью. Как уже было сказано в разделе 4.2.1.5, здесь используются преимущества частотной модуляции. Развитие передатчиков с частотной модуляцией идет по пути сужения полосы пропускания, что достигается соответствующим формированием импульсов модуляции с помощью *RC*-фильтров в модуляторе и эффективным подавлением гармоник с помощью соответствующих фильтров в высокочастотном блоке.

Передатчик (рис. 266) имеет полосу пропускания по низкой частоте 2 кГц и девиацию частоты 1,6 кГц. Согласно уравнению (61) достигаемая при этом полоса пропускания по высокой частоте составляет 7,2 кГц, что ниже границы (8 кГц). Импульсный блок этого передатчика с частотной модуляцией в основном подобен импульсному блоку передатчика с амплитудной модуляцией,

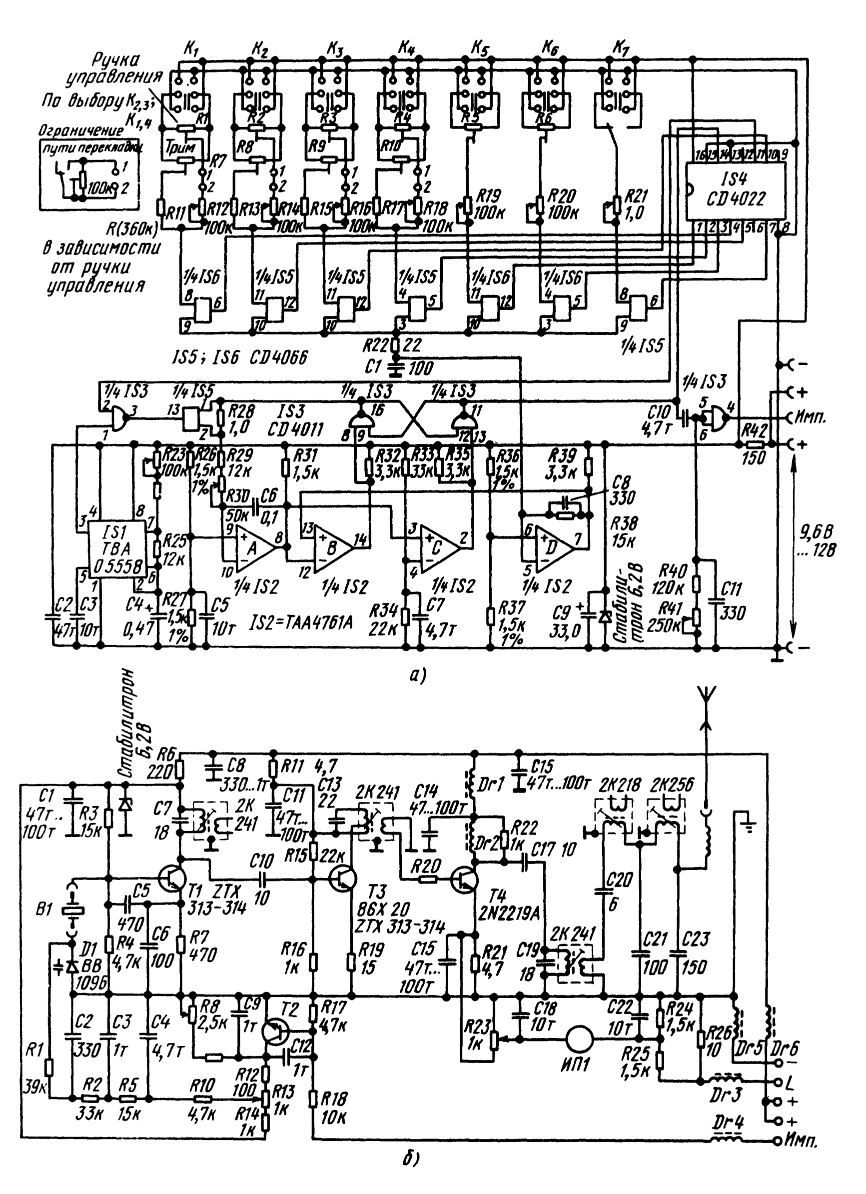


Рис 266
Семиканальный передатчик с частотной модуляцией *FM-Professional* (аппаратура *Microprop-FM*). *а* импульсный блок, *б* высокочастотный блок Сопротивление резистора *R20* определяется подбором (оно составляет около 68 Ом)

за исключением некоторых особенностей. Синхронизирующая интегральная схема *IS1* (типа *TBA 0555 B*) работает в качестве генератора тактовых импульсов. Канальные импульсы формируются интегральной схе-

мой *IS2* (типа *TAA 4761 A*, включающей в себя четыре операционных усилителя), играющей роль интегратора. Канальные импульсы получают посредством подключения к интегратору *IS2* канальных потенциометров *R1—R6* через двусторонние переключатели на дополняющих МОП-структурах *IS5* и *IS6* (интегральные схемы типа *CD 4066*), управляемые счетчиком на таких же структурах *IS3* (интегральная схема *CD 4011*). Особенностью является возможность изменения полярности выводов каждой ручки управления с помощью переключателя без изменения нейтрального положения и максимального угла отклонения руля. Благодаря такому простому устройству, установленному на передатчике, получают возможность менять направление движения сервомеханизма на модели.

Другая особенность, которой обладает только передатчик *Professional*, предназначенный для опытных, обладающих хорошей реакцией моделистов,— ограничение пути перекладки руля в пределах от 50 до 95% от полного пути перекладки. При этом сохраняется пропорциональность между углом отклонения ручки управления и путем перекладки руля, лишь сам путь перекладки уменьшается.

Указанное выше формирование (сглаживание) импульсов модуляции в схеме передатчика получают с помощью *RC*-цепочки, установленной между коллектором транзистора модулятора *T2* и варикапом *D1* для затягивания частоты кварцевого резонатора. Область затягивания задается напряжением смещения на варикапе, определяемым резисторами *R8*, *R13*. Частота генератора равна половине рабочей частоты передатчика, т. е. 13,56 МГц, в то время как колебательный контур в цепи коллектора транзистора *T1* настроен на частоту 27,12 МГц и, следовательно, отфильтровывает первую гармонику.

В остальном схема трехкаскадного высокочастотного блока соответствует схеме трехкаскадного передатчика с амплитудной модуляцией. Высокочастотный блок обеспечивает мощность высокой частоты на антенне около 0,5 Вт.

Схема приемника аппаратуры *Microprop-Sport AM* (рис. 267) подобна схеме приемника аппаратуры *Multiplex-Royal* (рис. 57 и 156). Особенностью приемника является использование полевого транзистора с двумя затворами типа *40841* в преобразовательном каскаде. Применение этих транзисторов обеспечивает супергетеродинному приемнику высокую чувствительность и, что еще более важно, большую помехозащищенность от перекрестной модуляции.

Каскады усиления промежуточной частоты собраны на транзисторах и *LC*-фильтрах по обычной технологии. Для усиления импульсов и их синхронизации использована интегральная схема (матрица транзисторов). Декодирующее устройство собрано на маломощной интегральной схеме

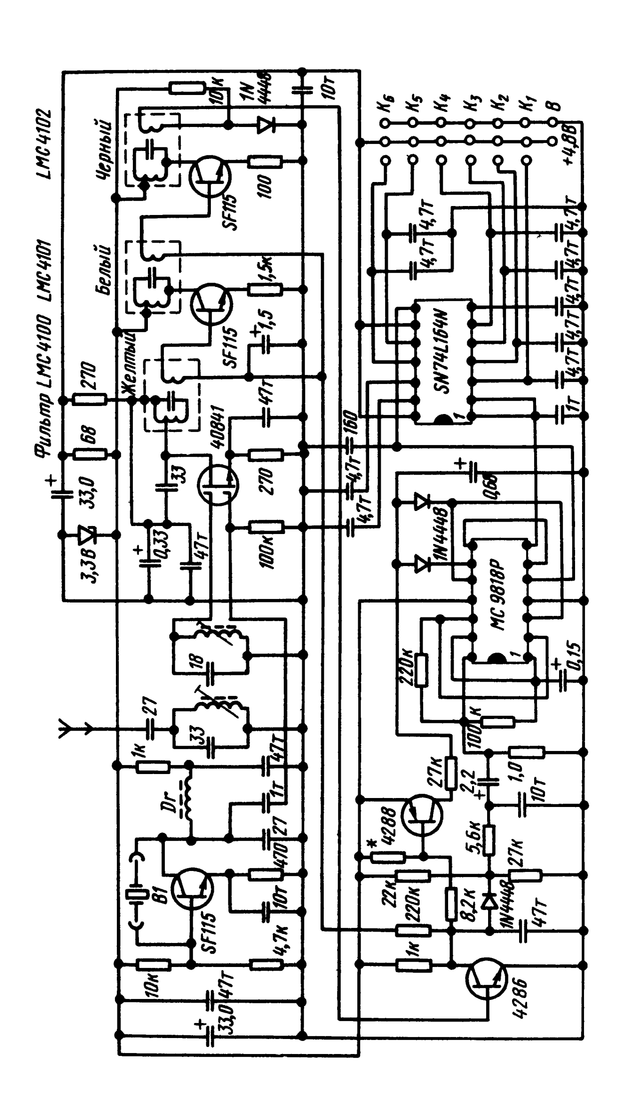
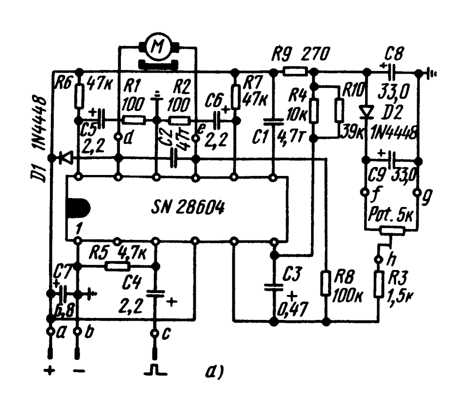


Рис. 267
Шестиканальный приемник с амплитудной модуляцией *Sport 6* (аппаратура *Microprop*). Сопротивление резистора *R* определяется подбором (оно составляет 18—27 кОм)

типа *SN 74 L 164 N*, представляющей собой регистр сдвига.

Сердцем сервоэлектроники является интегральная схема типа *SN 28604*, представляющая собой усовершенствованный вариант интегральной схемы *SN 28654*, установленной, например, в сервоэлектронике типа *C 05* (см. рис. 286) аппаратуры *Varioprop*. В схеме типа *SN 28654* два вывода (*9* и *13*) не заняты. Так как корпус интегральной схемы требовал много места в сервоэлектронике, которую в свою очередь необходимо было разместить в сервомеханизме, имеющем габариты 38×34×19 мм, был разработан вариант схемы *SN 28604*. Электрическая часть схемы оставлена такой же, как



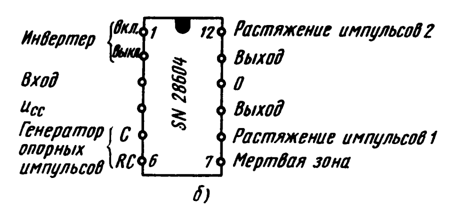


Рис. 268
Сервоэлектроника *Compaktservo*, собранная с применением интегральной схемы: *а* — принципиальная схема; *б* — расположение выводов на интегральной схеме типа *SN 28604*

в схеме *SN 28654*, но вместо 14 выводов корпус имеет только 12 и поэтому занимает на плате меньше места. Но и схема типа *SN 28604*, имеющая размеры 16×6 мм, относительно велика, так как плата сервоэлектроники *Compaktservo* имеет размеры 29×20 мм (рис. 268).

На входе интегральной схемы типа *SN 28604* установлен инвертор (выводы *1* и *2*), благодаря чему ее можно использовать при отрицательных (подавая их на вывод *1*) и положительных (подача на вывод *2*) канальных импульсах. Цепочка *C4, R5* развязывает вход по постоянному току. Поэтому при спаде импульса состояние сервоэлектроники не меняется и независимо от состояния выхода счетчика сервомеханизм не достигает упора.

Время опрокидывания генератора опорных импульсов устанавливают подбором номиналов схемных элементов, подключенных к выводам *5* и *6*. Среднюю длительность опорных импульсов можно установить с помощью резисторов *R4* и *R10*. Для регулировки средней длительности канальных импульсов, равной 1,7 мс (аппаратура *Microprop*), предусмотрен только резистор *R4* сопротивлением 10 кОм. В случае меньшей длительности, например 1,6 мс (аппаратура *Multiplex*), параллельно резистору *R4* устанавливают резистор *R10* сопротивлением 39 кОм. Имеющееся отклонение от среднего положения сервомеханизма устраняют поворотом ползунка потенциометра, имеющего сопротивление 5 кОм.

Пределы изменения длительности канального импульса, равные ±0,5 мс, зависят только от напряжения на выводах *5* и *6*. Чтобы обеспечить точность отработки команд, а также температурную стабильность и стабильность напряжения, снимаемое с регулировочного потенциометра, напряжение на выводах с помощью цепочки *R9, C8* развязано от напряжения питания и стабилизировано диодом *D2* и конденсатором *C9*.

С помощью конденсатора *C1*, подключенного к выводу *7*,

регулируют величину мертвой зоны сервомеханизма. Емкость конденсатора определяется требуемым демпфированием и скоростью перекладки. Величина демпфирования зависит от сопротивления резистора *R8*. Для растягивания импульсов с каждой стороны интегральной схемы предусмотрены цепочки *R1, C5, R6* и *R2, C6, R7*. Номиналы элементов цепочек определяются временем такта для последовательности импульсов. Так как время такта у аппаратуры *Microprop*, равное 30 мс, значительно больше, чем у других образцов аппаратуры дистанционного управления, емкости конденсаторов *C5* и *C6* в ней больше, чем на схемах рис. 285 и 286.

Конденсатор *C2* предназначен для подавления помех, создаваемых электродвигателем. Диод *D1* защищает интегральную схему от пиков индуктированного электродвигателем напряжения, закорачивая его.

В некоторых случаях дистанционного управления моделями пока нельзя обойтись без реле, например, при необходимости переключения больших электрических мощностей без потерь. Существуют транзисторы, с помощью которых можно переключать токи 24 А и более, даже при напряжениях до 24 В. Но напряжение в точке изгиба характеристики для кремниевых транзисторов составляет от 1 до 1,5 В, поэтому при токе 10 А рассеиваемая мощность транзистора оконечного каскада составит 15 Вт.

Поскольку эта мощность необходима для самих двигателей судо- и авиамоделей, здесь применяют электронные переключатели с релейными выходами. С помощью такого переключателя можно включать и выключать двигатель или подключать релейный выход параллельно транзистору оконечного каскада в регуляторе хода. Тогда переключатель используют только для исполнения команды «Полный крутящий момент» с помощью дополнительного канала управления и поэтому называют его переключателем скорости.

Переключатель скорости содержит три функциональных каскада: генератор опорных импульсов, каскад сравнения и усилитель мощности с релейным выходом.

Функциональные каскады можно реализовать различны-

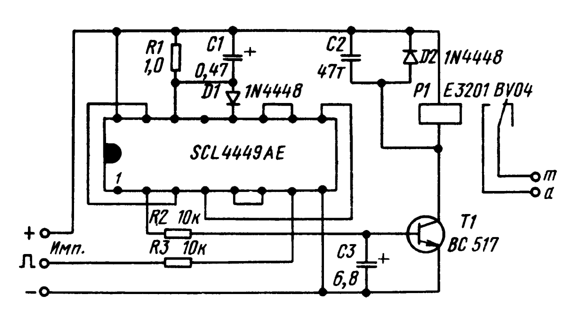


Рис. 269
Переключатель скорости (аппаратура *Microprop*)

ми способами. В переключателе скорости, схема которого представлена на рис. 269, генератор опорных импульсов и каскад сравнения выполнены с применением интегральной схемы типа *SCL 4449 AE* и внешних по отношению к ней схемных элементов. Интегральная схема содержит дополняющие МОП-структуры и характеризуется особенно низким потреблением мощности. Ток покоя при отпущенном якоре реле составляет около 0,5 мА.

Для усиления мощности остаточного импульса схема дополнена транзистором *T1* и реле. Реле может выдерживать нагрузку до 20 А. Но так как задействованы только средний и рабочий контакты реле, можно подавать только команды «Вкл» и «Выкл».

8.1.4. Аппаратура *Superprop* для работы в полосе частот 433 МГц

Первой серийной аппаратурой, предназначенной для дистанционного управления моделями в полосе частот 433 МГц, явилась аппаратура *Superprop* фирмы *Histri-Electric,* выпускаемая с 1974 г. В этой аппаратуре интересны схемные решения не только высокочастотных узлов, но и кодирующего и декодирующего устройств.

Аппаратура, предназначенная для работы в полосе частот 433 МГц, дает моделистам следующие преимущества:

малое влияние посторонних излучений благодаря распространению волн в пределах оптической видимости;

возможность оптимального согласования антенны, несмотря на ее малую длину (около 41 см), благодаря чему мощность высокой частоты может быть излучена с минимальными потерями;

получаемое при снижении потерь значительное улучшение соотношения сигнал/шум в месте приема и увеличение времени работы приемника до 4—5 ч;

большая дальность действия аппаратуры (до 4 км) при прямой видимости модели и высокая надежность управления, являющиеся следствием увеличения мощности излучения и определения оптимальной длины антенны;

малая вероятность помех со стороны передатчика, работающего на том же канале (что, к сожалению, довольно часто случается в полосе частот 27,12 МГц), так как в полосе частот 433 МГц работает довольно мало аппаратуры дистанционного управления моделями.

Аппаратура *Superprop* рассчитана для работы на следующих каналах: *69, 70, 73, 76, 78, 79, 87, 92, 93* и *94* (частоты см. в табл. 4). Уже из перечисления каналов ясно, что полоса частот 433 МГц имеет дополнительные резервы (освоение других каналов, применение частотной модуляции) и в будущем приобретет для моделистов большое значение.

Длительность канального импульса в аппаратуре *Superprop* составляет 1,5±0,5 мс. В импульсном блоке передатчика (рис. 270) использован регистр сдвига на дополняющих МОП-

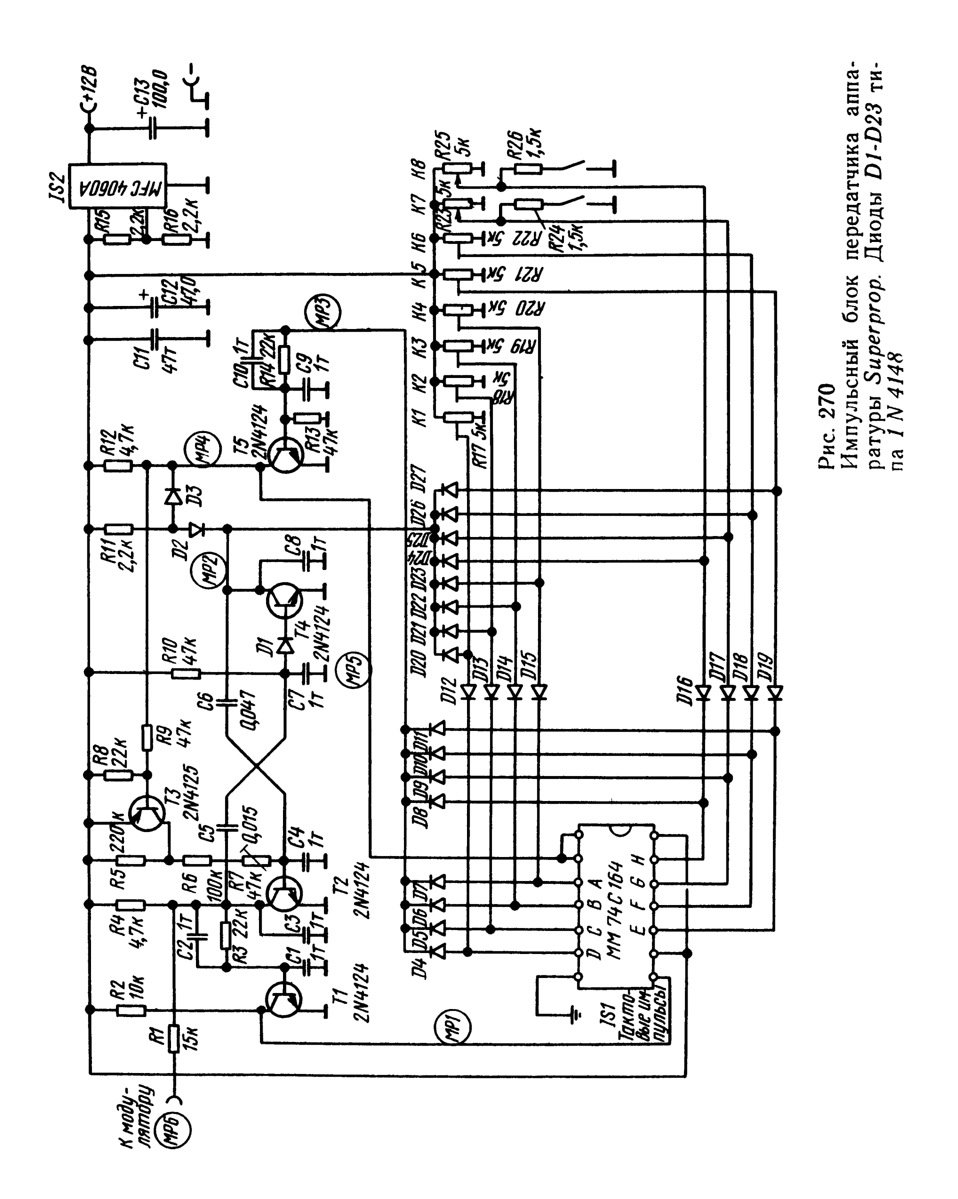


Рис. 270
Импульсный блок передатчика аппаратуры *Superprop*. Диоды *D1-D23* типа *1N4148*

структурах. Напряжение питания стабилизируется интегральной схемой *IS2* (с точностью ±0,05%). Основной частью импульсного блока является управляемый автоколебательный мультивибратор, собранный на транзисторах *T2* и *T4*. Управление этим мультивибратором производится через транзисторы *T3, T5* и регистр сдвига (интегральная схема *IS1*).

Импульсы манипуляции формируются за счет опрокидывания транзистора *T4* с постоян-

ной времени $t_1=0,7\cdot15$ тыс. пФ $\cdot$ 47 кОм $\approx$ 4 мс. Пауза между двумя импульсами манипуляции определяется временем опрокидывания транзистора *T2*.

Если транзистор *T3* открыт, транзистор *T2* управляет сигналами регистра сдвига *IS1* и диодов *D* 20—*D* 27, на которые подаются соответствующие напряжения смещения. Регистр сдвига определяет последовательность импульсов манипуляции, причем величину паузы между импульсами ($1,5\pm\pm0,5$ мс) можно изменять посредством изменения напряжений смещения, задаваемых канальными потенциометрами.

Если входной импульс проходит через регистр сдвигов и в точке *MP6* появляется полная последовательность импульсов (в зависимости от числа канальных потенциометров передатчик может быть рассчитан на 4, 6 или 8 каналов), то в точке *MP3* импульсы отсутствуют. Вследствие этого транзисторы *T5* и *T3* запираются. Транзистор *T2* опрокидывается с постоянной времени $t_2=0,7\cdot47$ тыс. пФ $\cdot$ $\cdot$ 320 кОм $\approx$ 10 мс, образуя тем самым синхронизирующую паузу, превышающую 6 мс. По истечении этого времени транзистор *T4* снова опрокидывается и за счет этого через диод *D3* возбуждает регистр сдвига.

В этом импульсном блоке передатчика сигнал проходит такой же путь, как и в импульсном блоке, показанном на рис. 47. Несмотря на различия между двумя методами синхронизации — методом *Varioprop* и стандартным,— их применение при использовании интегральной схемы для регистра сдвига дает следующие преимущества:

малое потребление мощности за счет применения дополняющих МОП-структур (благодаря этому получают выгодный баланс мощностей передатчика);

отсутствие обратного воздействия импульсов манипуляции друг на друга, устраняющее перекрестные помехи между каналами или взаимное влияние между командами управления. В передатчике *Superprop* (рис. 271) реализовано схемное решение высокочастотного блока, отличающееся от рассмотренных в разделе 4.2.1.3 решений блока передатчика, предназначенного для работы в полосе частот 433 МГц.

Автогенератор, собранный на транзисторе *T1* в целях стабилизации снабжен кварцем и работает по стандартной схеме на частоте 72 МГц. Напряжение питания стабилизировано с помощью резистора *R5* и диода *D1*. Первый каскад умножения частоты (на транзисторе *T2*) утраивает частоту генератора, а второй (на транзисторе *T3*) удваивает (до 433 МГц). Модулирующие импульсы поступают на первый предоконечный каскад усиления высокой частоты, собранный на транзисторе *T5*, через транзистор *T4*. Оба предоконечных каскада (на транзисторах *T5* и *T6*), как и оконечный каскад усиления высокой частоты (на транзисторе *T7*), работают как проходные усилители. Связь между всеми каскадами — емкост-

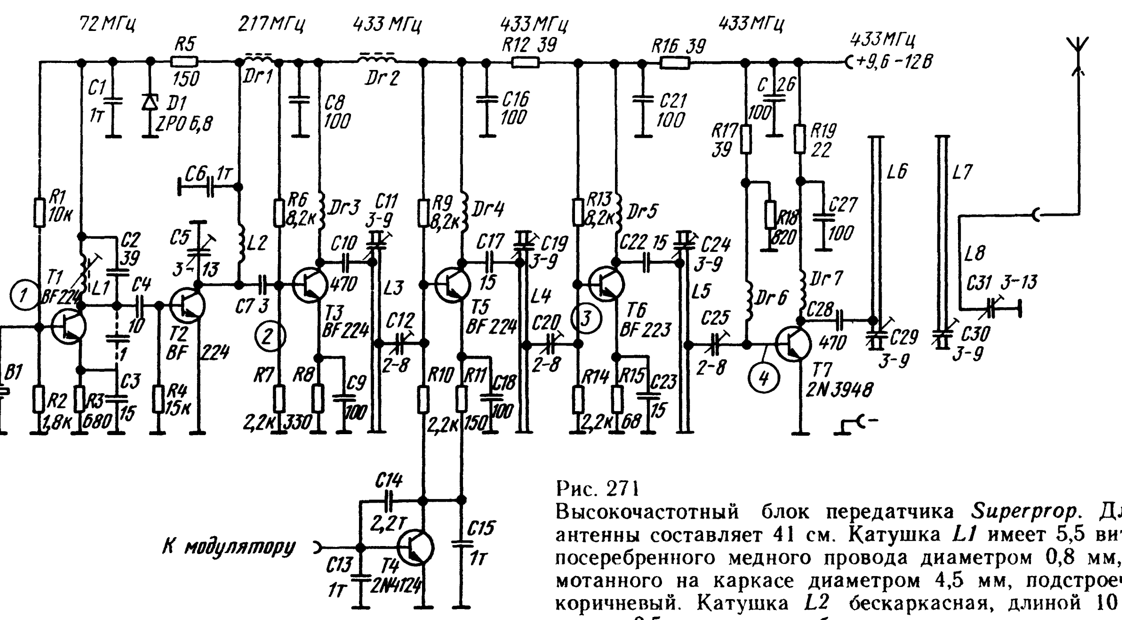


Рис. 271
Высокочастотный блок передатчика *Superprop*. Длина антенны составляет 41 см. Катушка *L1* имеет 5,5 витков посеребренного медного провода диаметром 0,8 мм, намотанного на каркасе диаметром 4,5 мм, подстроечник коричневый. Катушка *L2* бескаркасная, длиной 10 мм, имеет 3,5 витка посеребренного медного провода диаметром 1,0 мм. Катушки *L3*-*L7* представляют собой скобы (длина в развертке 25 мм) из посеребренного медного провода диаметром 1,5 мм, расположенные в 5 мм над платой. Дроссели *Dr1*, *Dr2* имеют по 3,5 витка медного покрытого эмалью провода диаметром 0,4 мм, намотанного на ферритовых бусинках диаметром 3,5/5 мм. Дроссели *Dr3*, *Dr4* и *Dr5* (по 12 витков), *Dr6* (7 витков) и *Dr7* (5 витков) намотаны медным, покрытым эмалью проводом диаметром 0,5 мм. Дроссели бескаркасные, расстояние между витками 0,5 мм

ная. Для развязки между оконечным и предоконечным каскадами использованы резисторы *R12* и *R16,* а между ними и каскадами умножения частоты — дроссели *Dr1* и *Dr2.*

Для подавления гармоник антенна, выполненная в виде излучателя, длина которого равна $^5/_8$ длины волны, связана с контуром оконечного каскада через фильтр *L7, C30.*

С помощью подстроечного конденсатора *C31* антенну настраивают в резонанс. По сравнению с излучателем, длина которого равна половине длины волны, эта антенна обеспечивает лучшее на 3 дБ излучение в плоскости и во время работы на земле имеет более высокое усиление при сохранении сферической диаграммы направленности. Наряду с уже названными преимуществами передатчик, предназначенный для работы в полосе частот 433 МГц, имеет и более удобную антенну, длина которой составляет всего 41 см. При работе в полосе частот 27,12 МГц длина антенны, равная $^5/_8$ длины волны, составляла бы 6,9 м.

Как видно из схемы рис. 271, появление мощных высокочастотных кремниевых транзисторов, граничная частота которых лежит в гигагерцовом диапазоне, позволило в передатчиках, работающих в полосе частот 433 МГц, использовать принципы устройства передатчиков, работающих в полосе частот 27, 12 МГц.

Интересной особенностью передатчика *Superprop* является примененный в нем способ контроля напряжения батареи (рис. 272). Автоколебательный мультивибратор, собранный на транзисторах *T1* и *T2,* управляет работой переключающего транзистора *T3,* в коллекторную цепь которого включен светоизлучающий диод *D2.* Мерцания диода являются признаком того, что напряжение батареи лежит в диапазоне от 9,6 до 12 В. При уменьшении напряжения питания частота мерцаний становится все меньше, а при напряжении 9,6 В диод совсем гаснет.

С увеличением разряда аккумулятора передатчика на базу транзистора *T1* автоколебательного мультивибратора через стабилитрон *D1* посту-

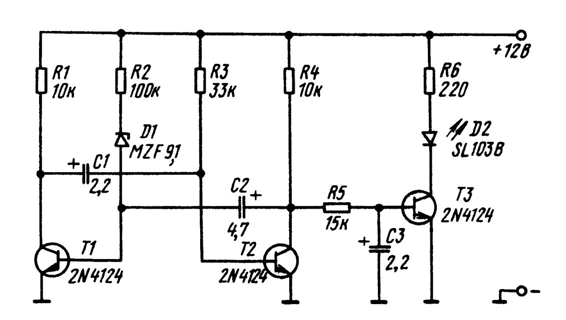


Рис. 272
Контроль напряжения питания с помощью светоизлучающего диода

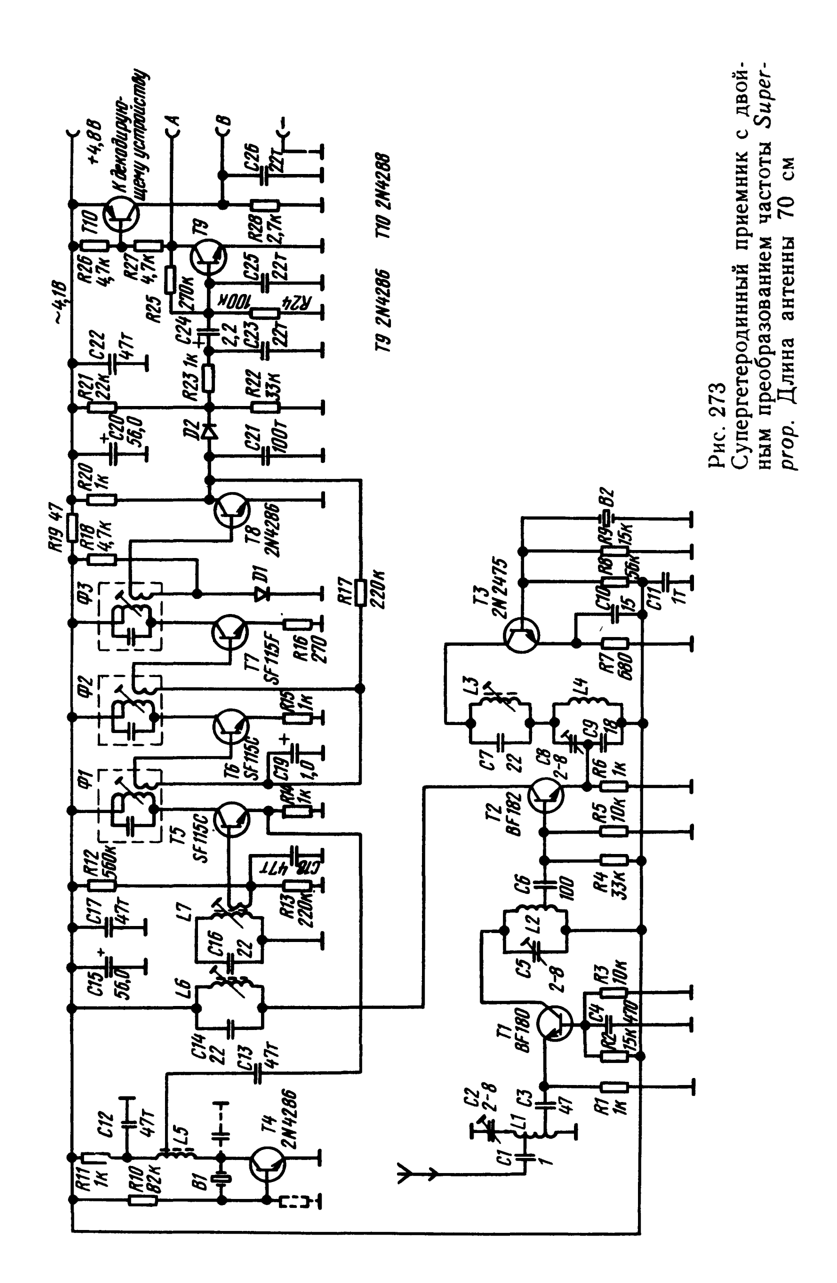


Рис. 273
Супергетеродинный приемник с двойным преобразованием частоты *Superprop*. Длина антенны 70 см

пает все меньшее напряжение питания $U_b = U_B - U_Z$. Наконец, напряжение на базе транзистора *T1* становится таким малым, что опрокидывания мультивибратора прекращаются. При этом транзистор *T3* запирается и мерцания светоизлучающего диода также прекращаются. Изменение пауз меж-

ду отдельными зажиганиями диода позволяет следить за состоянием заряда аккумулятора передатчика. Такая электронная схема контроля позволила устранить из схемы передатчика еще один механический узел — стрелочный индикатор.

Выполнение приемника аппаратуры *Superprop* по схеме супергетеродинного приемника с двойным преобразованием частоты (рис. 273) обеспечило высокую помехозащищенность по зеркальной частоте и надежность управления. Решена трудная проблема, так как ширина полосы частот 433 МГц (равная 1,734 МГц) велика и при использовании промежуточной частоты 455 кГц обеспечить помехозащищенность по зеркальной частоте очень нелегко. Первая промежуточная частота приемника, равная 40,65 МГц, выбрана такой большой потому, что при этом технически проще осуществить помехозащищенность по зеркальной частоте.

Антенна приемника длиной 70 см имеет емкостную связь с входным колебательным контуром *L1, C2*. Транзистор *T1* работает в качестве предварительного усилителя высокой частоты и включен по схеме с общей базой. Первую промежуточную частоту 40,65 МГц получают в первом преобразовательном каскаде, собранном на транзисторе *T2*. Стабилизированный кварцем гетеродин 1, собранный на транзисторе *T3* по стандартной схеме, генерирует колебания с частотой около 98 МГц. Установленный в цепи коллектора этого транзистора колебательный контур *C7, L3* настроен на частоту $f_r \approx 98$ МГц, а колебательный контур *C8, C9, L4* — на частоту $4 \cdot f_r \approx 393$ МГц. Таким образом, второй колебательный контур отфильтровывает четвертую гармонику частоты гетеродина и подает ее на эмиттер транзистора *T2*.

В остальном схема приемника соответствует схемам большинства супергетеродинных приемников, разработанных к 1975 г. для работы в полосе частот 27,12 МГц. Входной контур второго преобразовательного каскада выполнен двойным и настроен на первую промежуточную частоту 40,65 МГц. Гетеродин 2 также стабилизирован кварцем. Во втором преобразовательном каскаде, собранном на транзисторе *T5*, получают вторую промежуточную частоту 455 кГц. Остальные схемные узлы приемника уже рассмотрены на примерах схем супергетеродинных приемников (рис. 156, 157, 160—165 и 265).

Обработка импульсов в приемнике производится транзисторами *T9* и *T10* (рис. 273), а также двумя интегральными схемами (рис. 274). Интегральная схема *IS1* содержит шесть инверторов, а схема *IS2* — регистр сдвига. Схема, собранная на транзисторе *T9* (см. рис. 273), диоде *D1*, резисторе *R2* и конденсаторе *C2* (см. рис. 274), предназначена для выделения из последовательности импульсов синхронизирующего импульса, который (после прохождения канальных импульсов) через вход «Сброс»

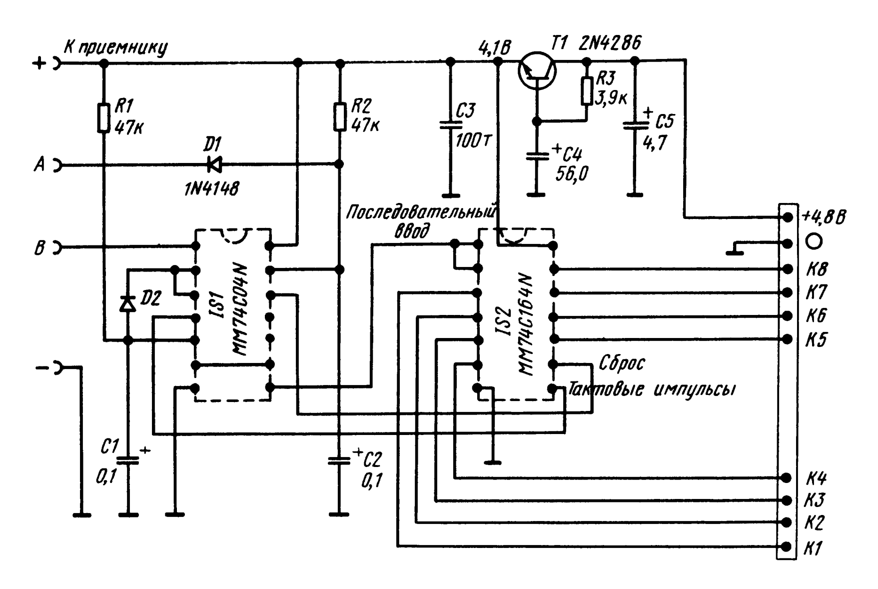


Рис. 274
Импульсный блок приемника *Superprop*

возвращает регистр сдвига в стартовое положение. Пусковые и тактовые импульсы для регистра сдвига формируются транзистором *T10* (см. рис. 273) и интегральной схемой *IS1* (см. рис. 274).

Входной импульс через вход *B* интегральной схемы *IS1* и три логические схемы поступает на вывод «Последовательный ввод» интегральной схемы *IS2*. Одновременно этот импульс через диод *D2* заряжает конденсатор *C1*, который затем разряжается через резистор *R1*. Но так как последующие импульсы манипуляции подзаряжают этот конденсатор быстрее, чем он разряжается через резистор *R1*, новый входной сигнал не может пройти до тех пор, пока не пройдет вся последовательность импульсов.

Последующие импульсы манипуляции играют роль тактовых импульсов и через вход «Тактовые импульсы» интегральной схемы *IS2* «продвигают» поступающие на «Последовательный ввод» импульсы через регистр сдвига. Благодаря этому канальные импульсы появляются параллельно и друг за другом на канальных входах *K1* — *K8*.

Напряжение питания приемника стабилизируется транзистором *T1* (см. рис. 274) примерно до 4,1В. Благодаря современному решению схемы приемник имеет хорошие технические характеристики: габариты 65×50×27 мм; масса 90 г; чувствительность 2—3 мкВ; полоса пропускания 3 кГц при избирательности по соседнему каналу 23 дБ.

В качестве сервомеханизма для аппаратуры *Superprop* используют сервомеханизм аппаратуры *Microprop* со встроен-

ной электронной схемой (рис. 78 и 266).

8.1.5. Аппаратура *Fajtoprop 2*

Для управления многими моделями вполне достаточно двухканальной аппаратуры. Описание такой аппаратуры опубликовано в чехословацком журнале *Modelar* (1976, № 5—7).

Передатчик имеет очень малые габариты: 105×200××35 мм. Ручки управления по обоим каналам выполнены с карданными шарнирами. Индикатор напряжения батареи расположен на скошенной лобовой стенке рядом с антенной, которую можно ввинчивать. Длина антенны 1,4 м.

Схема передатчика (рис. 275) отвечает современным стандартам. Длительность канального импульса составляет 1,5±0,5 мс. Импульсный блок состоит из генератора тактовых импульсов (на транзисторах *T1* и *T2*), двух триггерных каскадов (на транзисторах *T3* и *T4*) и моностабильного мультивибратора (на транзисторах *T5* и *T6*). Импульсы модуляции проходят через диодную решетку *D2, D3, D4*. Напряжение питания приемника 9,6 В, стабилизация его до 6,5 В осуществляется стабилитроном.

Высокочастотный блок выполнен двухкаскадным с генератором, стабилизированным кварцем. Модуляция производится в оконечном каскаде с

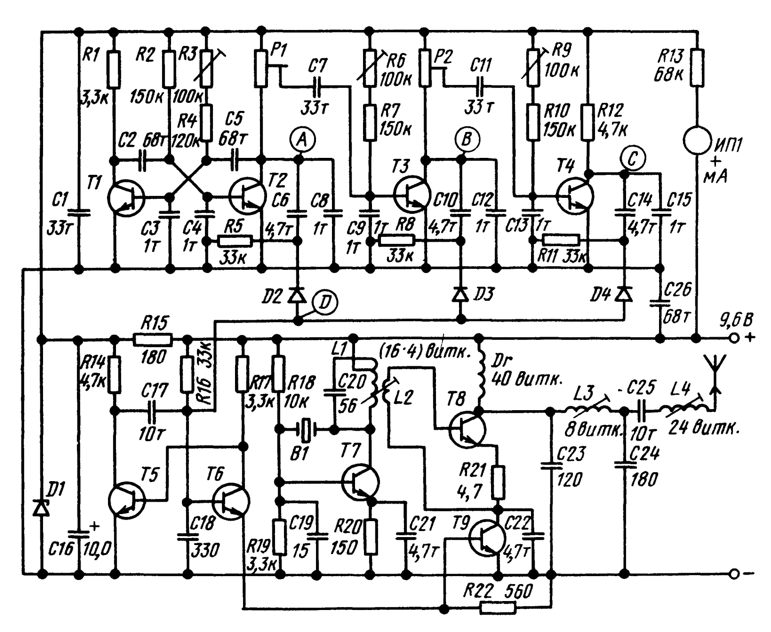


Рис. 275
Двухканальный цифровой передатчик (аппаратура *Fajtoprop 2*). Транзисторы *T1-T6* типа *KC 148*, *T7* типа *KSY 62*, *T8* типа *KSY 34*, *T9* — *GC 521*

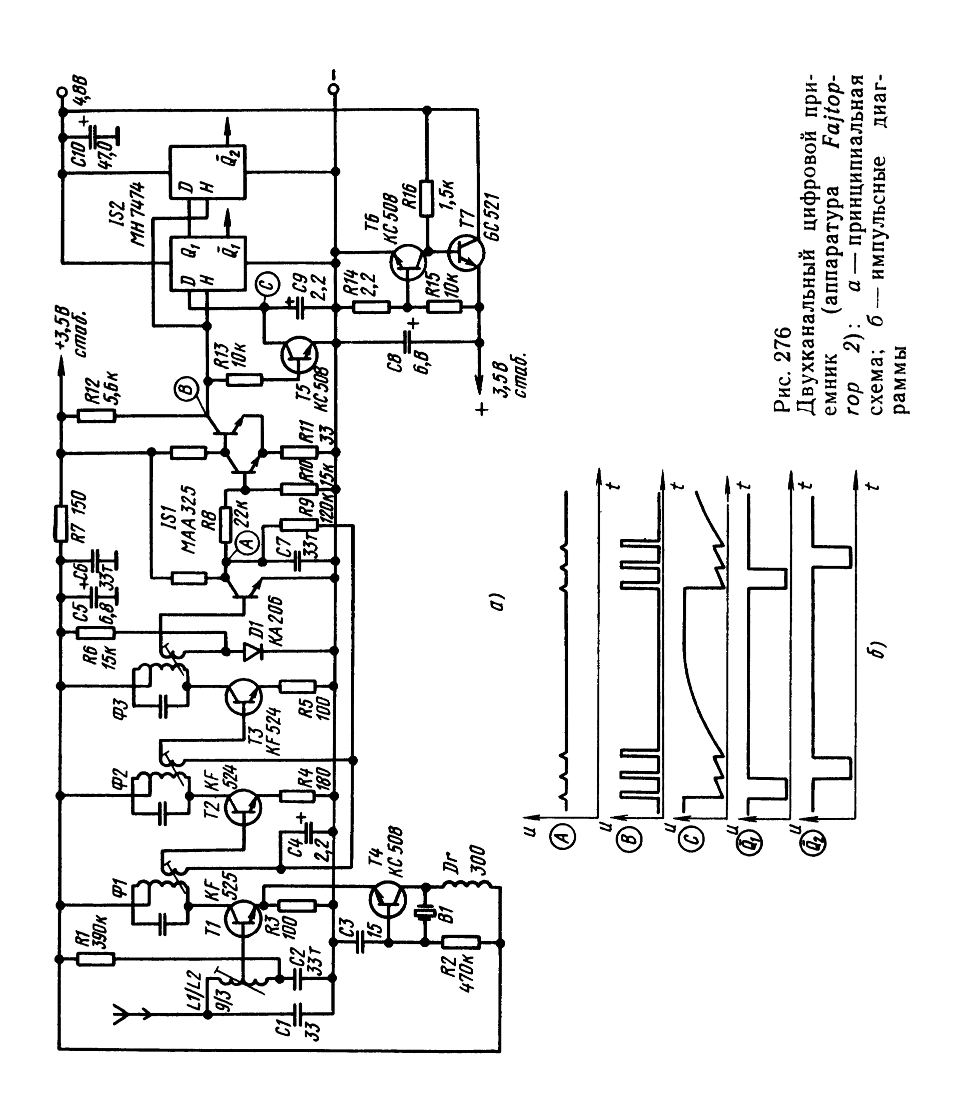
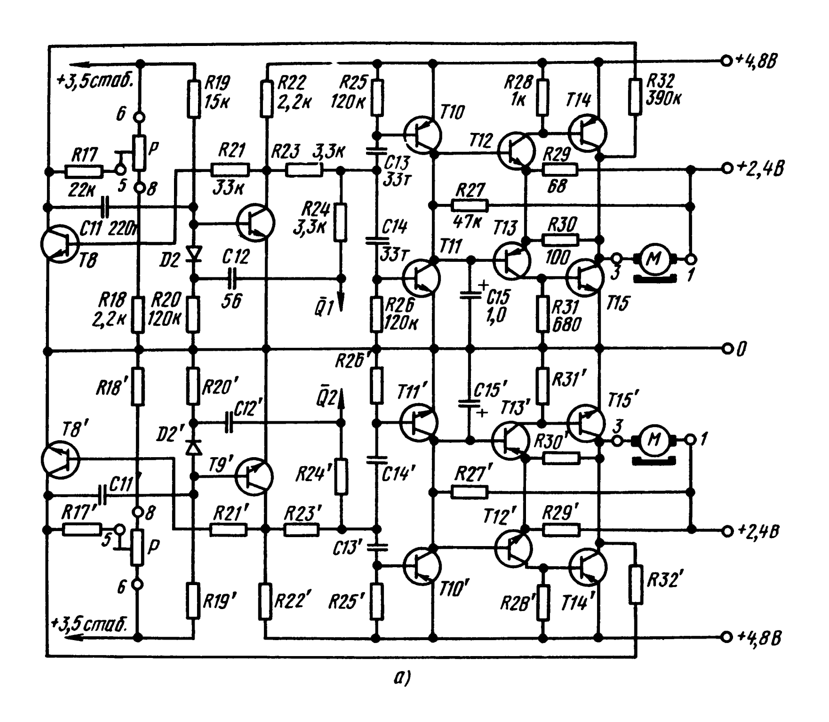


Рис. 276
Двухканальный цифровой приемник (аппаратура *Fajtop-гор* 2): *а* — принципиальная схема; *б* — импульсные диаграммы

помощью германиевого транзистора *T9* (типа *GC 521*). Оконечный каскад работает на простой П-фильтр. Развязка этого каскада и антенны по постоянному току осуществлена с использованием конденсатора *C25*. Антенна длиной 1,4 м настраивается в резонанс посредством катушки *L4*. Вся электронная схема размещена на одной плате, имеющей размеры 100×40 мм. Полное потребление тока передатчиком устанавливают равным 120—140 мА, подбирая сопротивление резистора *R20*.

Приемник (рис. 276), имеющий размеры 54×54×20 мм, относится к классу миниатюр-



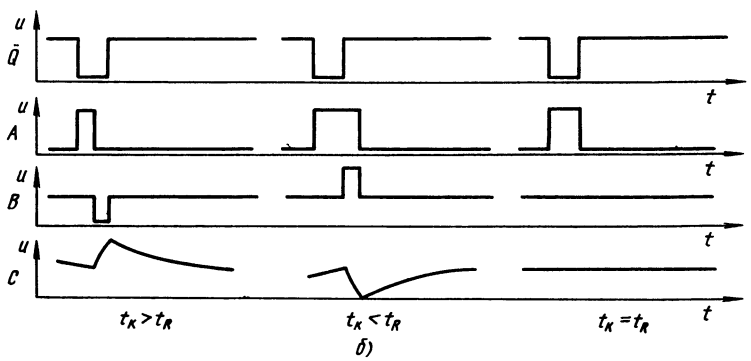


Рис. 277
Двухканальная сервоэлектроника (аппаратура *Fajtoprop 2*): *а* принципиальная схема. Транзисторы *T8*, *T9*, *T11* и *T12* типа *KC 508*, *T10*, *T13* типа *KSY 81*, *T14* типа *GC 511*, *T15* типа *GC 521*, диод *D2* типа *KA 206*; *б* - импульсные диаграммы

ных. На одной плате собраны супергетеродинный приемник, декодирующее устройство и два сервоусилителя. В плату вклеены гнезда для подключения сервомеханизмов *Varioprop* без электронных схем. Супергетеродинный приемник с гетеродином, стабилизированным кварцем, построен по

обычной трехкаскадной схеме и рассчитан на промежуточную частоту 450 кГц. Регулируемыми являются второй и третий каскады усиления промежуточной частоты.

Для усиления импульсов использована интегральная схема типа *MAA 325*, содержащая трехкаскадный усилитель. Синхронизацию работы приемника с передатчиком осуществляет транзистор *T5*. Для декодирования в двухкаскадном регистре сдвига применен *D*-триггер типа *MH 7474*. Напряжение питания приемника и импульсного усилителя стабилизировано и составляет 3,5 В.

Довольно интересное решение импульсного блока приемника, без сомнения, может побудить многих моделистов к его повторению. Сервоусилитель собран на транзисторах. Конструкция передатчика и приемника *Fajtoprop 2* делает возможным их дальнейшее совершенствование.

На рис. 277 представлены принципиальная электрическая схема и импульсные диаграммы двухканальной сервоэлектроники.

8.1.6. Аппаратура *Multiplex FM*

Выпущенная в 1975 г. аппаратура *Royal FM 5+2* была первой серийной аппаратурой с частотной модуляцией, предназначенной для дистанционного управления моделями. Такая узкополосная аппаратура не имеет ограничений для работы в полосах частот 27, 35 и 40 МГц (в ГДР — *прим. ред.*).

Импульсный блок передатчика (рис. 278) собран на транзисторах. Такое решение позволяет легко увеличить число каналов для передатчика с пяти до семи. С 1977 г. появилась возможность заменять сменный модуль (транзисторы *T7* и *T8*), подключаемый с помощью штекерного разъема. При замене вместо одного пропорционального канала получают четыре дискретных канала, передача по которым может вестись одновременно и независимо друг от друга. Особый интерес это может представить для судомоделистов, так как при замене двух пропорциональных каналов восемью дискретными появляется возможность управлять установленными на модели насосами, светосигнальными приборами, сиреной и т. д.

Сопряжение импульсов друг с другом посредством диодной решетки и формирование импульсов с помощью моностабильного мультивибратора (на транзисторах *T10* и *T11*) соответствуют стандартным решениям, используемым в цифровых передатчиках. Длительность импульса манипуляции устанавливают с помощью подстроечного резистора *R39*. Формирование импульсов, отвечающее требованиям работы в узкополосном режиме, производится варикапом *D10* и *RC*-фильтром *R45, C31, R46, C32, R47*.

Генератор, собранный на транзисторе *T13*, настроен на частоту 13,56 МГц, а колебательный контур *C35, L1* — на вторую гармонику (27,12 МГц).

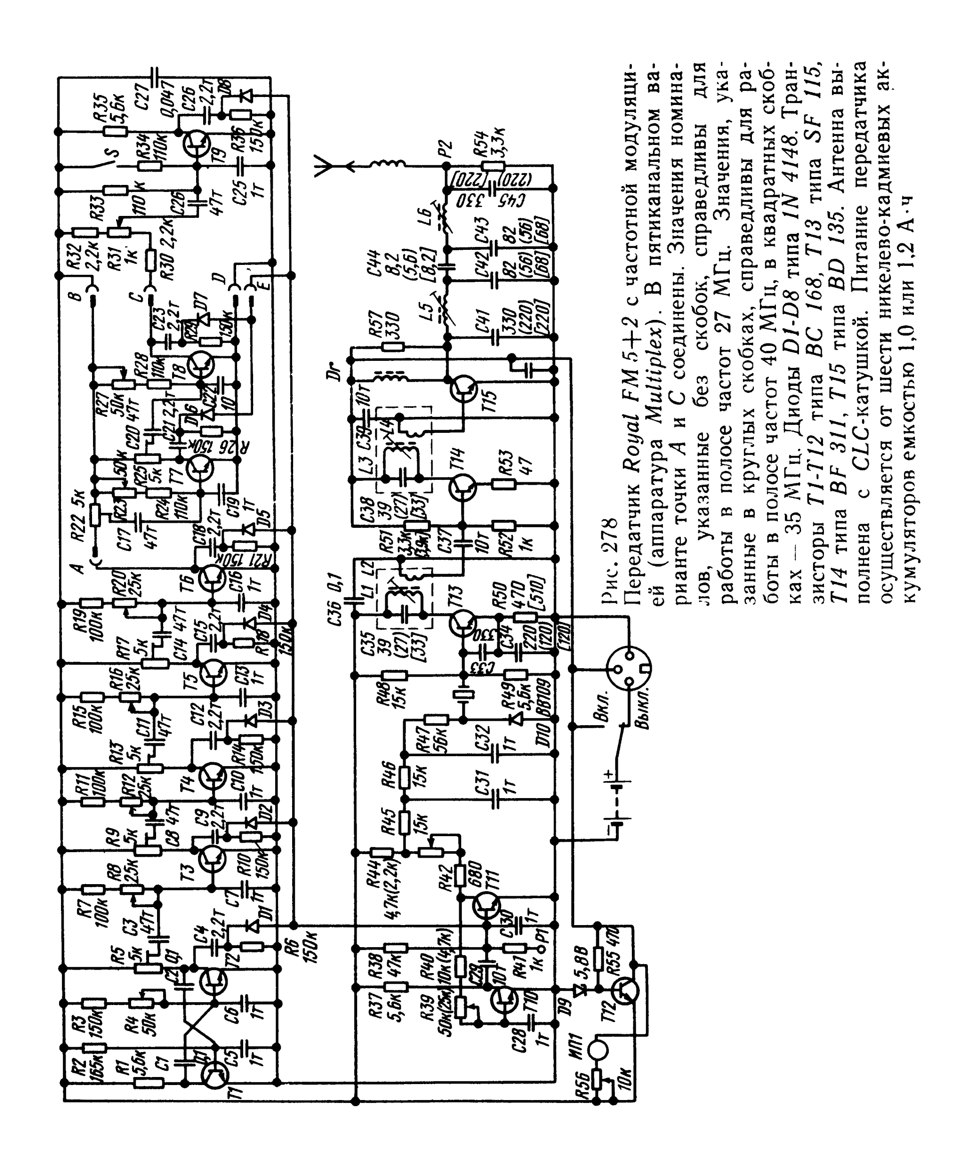


Рис. 278
Передатчик *Royal FM* 5+2 с частотной модуляцией (аппаратура *Multiplex*). В пятиканальном варианте точки *A* и *C* соединены. Значения номиналов, указанные без скобок, справедливы для работы в полосе частот 27 МГц. Значения, указанные в круглых скобках, справедливы для работы в полосе частот 40 МГц, в квадратных скобках — 35 МГц. Диоды *D1-D8* типа *1N 4148*. Транзисторы *T1-T12* типа *BC 168*, *T13* типа *SF 115*, *T14* типа *BF 311*, *T15* типа *BD 135*. Антенна выполнена с *CLC*-катушкой. Питание передатчика осуществляется от шести никелево-кадмиевых аккумуляторов емкостью 1,0 или 1,2 А·ч

Необходимое для узкополосного режима работы подавление гармоник и излучений на соседних каналах осуществляется *LC*-фильтрами межкаскадных связей и двойным П-фильтром в оконечном каскаде.

Питание передатчика отличается некоторыми особенностями. Благодаря использованию шести никелево-кадмиевых аккумуляторов (емкостью 1,0 или 1,2 А · ч) время работы достигает 5 ч. Так как эти аккумуляторы являются быстрозаряжаемыми, то при напряжении на зажимах 7,2 В акку-

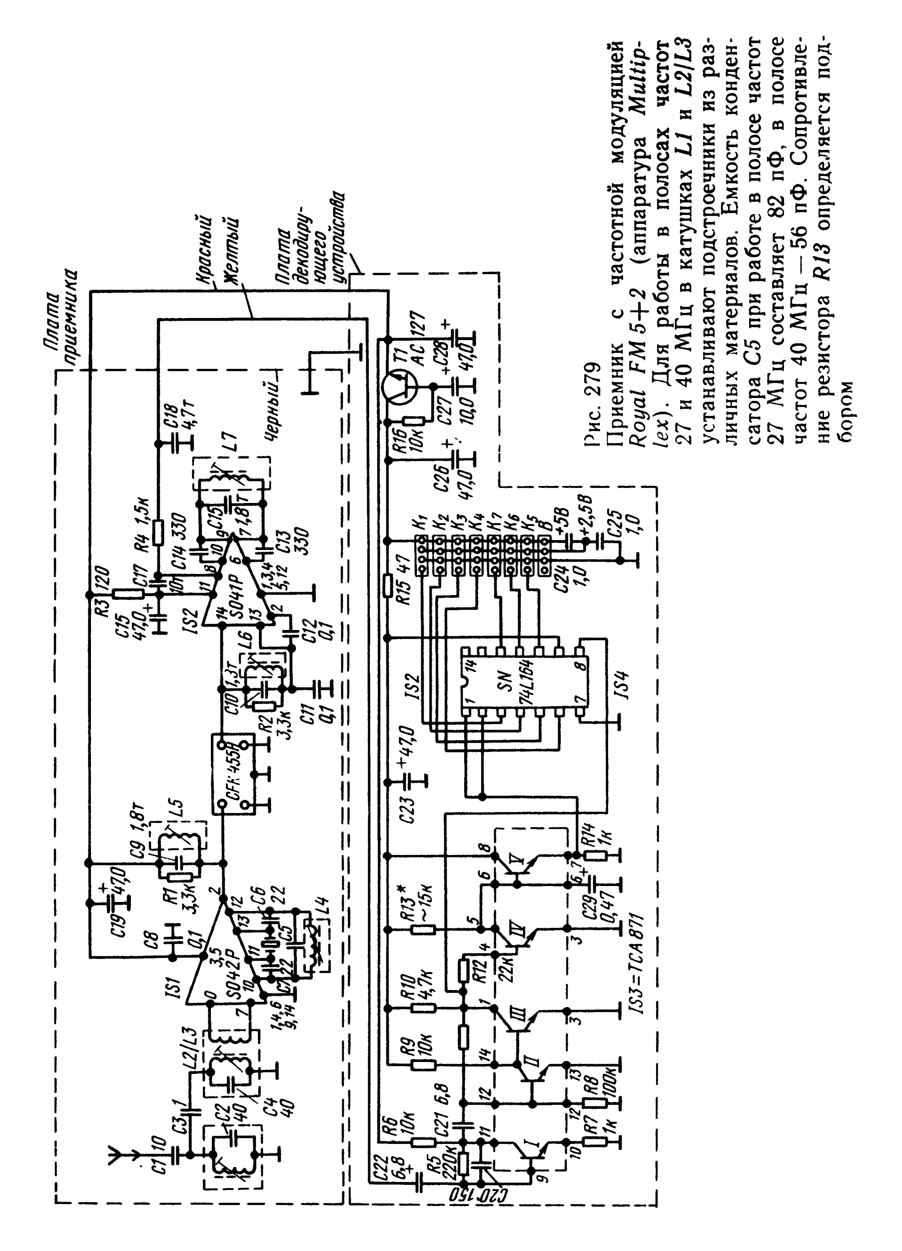


Рис. 279
Приемник с частотной модуляцией *Royal FM* 5+2 (аппаратура *Multiplex*). Для работы в полосах частот 27 и 40 МГц в катушках *L1* и *L2/L3* устанавливают подстроечники из различных материалов. Емкость конденсатора *C5* при работе в полосе частот 27 МГц составляет 82 пФ, в полосе частот 40 МГц — 56 пФ. Сопротивление резистора *R13* определяется подбором

мулятор можно примерно за 15 мин подзарядить от электросети автомобиля (12 В).

Приемник (рис. 279) выполнен на базе приемника, выпускавшегося фирмой *Siemens* в 1972 г. Как и приемник с амплитудной модуляцией *Royal* (рис. 57, 156 и 225), он собран на двух платах — супергетеро-

динного приемника и декодирующего устройства. Благодаря применению интегральных схем типа *SO 42 P* и *SO 41 P*, керамического фильтра, а также *LC*-фильтров для согласования каскадов и обеспечения избирательности получены очень хорошие электрические характеристики (избирательность более 65 дБ при полосе пропускания по высокой частоте 7,5 кГц, чувствительность 2—3 мкВ при отношении сигнал/шум 20 дБ).

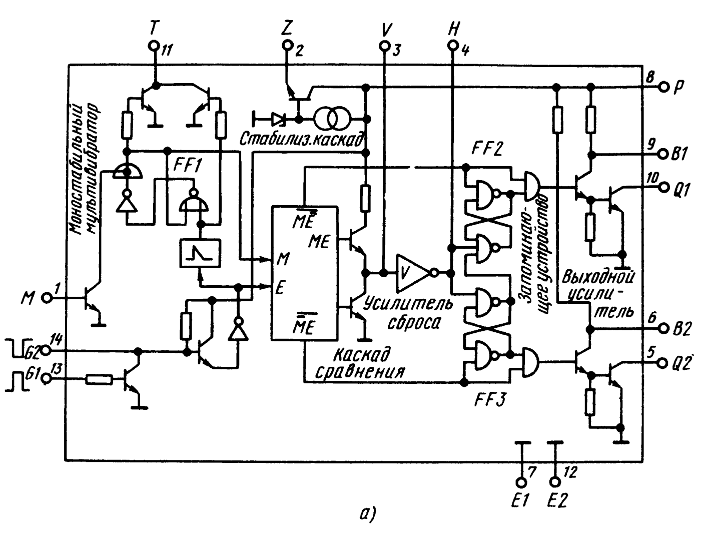
Усиление импульсов и синхронизацию обеспечивает матрица транзисторов (5 транзисторов) типа *TCA 871*. Синхронизацию можно отрегулировать подбором сопротивления резистора *R13*. Импульс сброса для маломощной интегральной схемы типа *SN 74 L 164*, работающей в качестве регистра сдвига, формируется за счет заряда конденсатора *C29* и подается на вывод *7* интегральной схемы *IS3*. Транзистор *T1* осуществляет стабилизацию напряжения приемника. Напряжение питания декодирующего устройства развязано с помощью цепочки *R15, C23*. Для предотвращения поступления в приемник импульсов помехи через штекерные гнезда *B, K1—K5* установлены конденсаторы *C24, C25*.

На небольших легких моделях приемник устанавливают с сервомеханизмом *IS-Microservo* (рис. 81), который оснащен электродвигателем с колоколообразным якорем, редуктором с металлическими зубчатыми колесами и интегральной схемой типа *SAK 150* (усовершенствованный вариант схемы типа *SAK 100*) и имеет очень хорошие характеристики. Его габариты составляют 38×34××19 мм, масса около 35 г. Сервомеханизм развивает усилие перекладки 17 Н при плече рычага 1 см и обеспечивает точность отработки команд, равную 1%.

Интегральная схема типа *SAK 150* предназначена для устройств цифрового пропорционального управления и специально разработана для сервомеханизмов аппаратуры дистанционного управления. Она размещена в специальном корпусе, имеющем размеры 8,75××4 мм.

Интегральная схема *SAK 150* (рис. 280,*а*) содержит типичные для сервоэлектроники функциональные каскады. Положительный канальный импульс, поступающий на вход *G1*, или отрицательный, поступающий на вход *G2*, через каскад развязки запускают генератор опорных импульсов (моностабильный мультивибратор). Время опрокидывания генератора и длительность опорного импульса определяется положением ползунка потенциометра R_x (см. рис. 280, *б*).

Каскад сравнения из канальных и опорных импульсов формирует разностные импульсы. Если длительность канального импульса больше длительности опорного импульса, то срабатывает триггер *FF3* и выходной импульс появляется на выводах Q_2 и B_2, если меньше — срабатывает триггер *FF2* и выходной импульс появ-



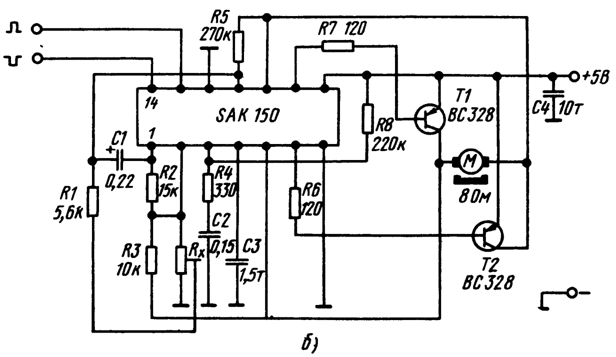


Рис. 280
Сервомеханизм *IS-Microservo* (аппаратура *Multiplex*): *а* — интегральная схема типа *S AK 150*; *б* — принципиальная схема (емкость конденсатора *C2* равна 0,22 мкФ, *C1* — 0,33 мкФ, *C4* — 4,7 мкФ. Сопротивление потенциометра R_x составляет 5 кОм, *R6* и *R7* — по 150 Ом, сопротивление R_r между выводом *13* и входом — 22 кОм)

ляется на выводах Q_1 и B_1. При равенстве длительностей обоих импульсов триггеры *FF2* и *FF3* остаются в положении сброса и выходные транзисторы заперты. Продолжительность включения триггера *FF2* или *FF3* определяется длительностью опорного импульса, а также схемными элементами, подключенными к выводу *3* (резисторы *R4* и *R8*, конденсатор *C2*). При отсутствии канального импульса оба выхода отключаются.

Кроме резисторов и конденсаторов эта сервоэлектроника в качестве внешних схемных элементов содержит два транзистора. Ее большим преимуществом по сравнению с други-

ми, собранными на интегральных схемах, является меньшее примерно на 1 В напряжение питания серводвигателя, составляющее 4,3—4,5 В (т. е. падение напряжения составляет только 0,5 В) при рабочем токе 500 мА. Ток покоя равен около 9 мА.

На принципиальной электрической схеме указаны номиналы схемных элементов при использовании нормального серводвигателя (8 Ом). Номиналы схемных элементов для сервомеханизма *Microservo* указаны в подрисуночной подписи.

Опыт, накопленный при работе с регулятором хода (рис. 92), позволил его усовершенствовать. Регулятор хода нового поколения, появившийся в 1976 г., разработан с использованием новых схемных элементов (дополняющих МОП-структур, операционных усилителей, мощных транзисторов). Разделение блока управления и блока усиления мощности в регуляторе хода этого варианта предотвратило воздействие оконечного каскада усиления мощности (за счет тепла потерь) на импульсный блок и обеспечило точную характеристику управления, независимую от температуры и мощности.

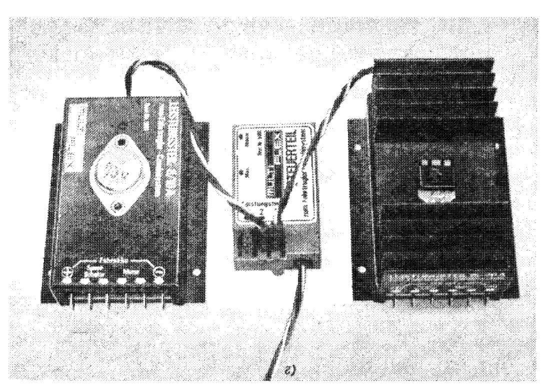
К блоку управления с помощью штекерных соединений подключают до трех блоков усиления мощности. Таким образом, через один выход приемника можно плавно и пропорционально (между нулевым и максимальным положениями) управлять одним блоком управления и тремя блоками усиления мощности общей мощностью $P = 25$ В · 3 · ·20 А = 1,5 кВт.

В качестве генератора опорных импульсов в блоке управления (рис. 281, *а*) использована интегральная схема типа *555*. Синхронизирующая схема, обладающая высокой стабильностью, позволяет с помощью подстроечного резистора *R4* регулировать длительность опорного импульса независимо от температуры и напряжения. Импульсы обрабатываются двумя интегральными схемами типа *4011*, собранными на дополняющих МОП-структурах.

Если управляющий импульс поступает на ячейку *G8*, то независимо от того, больше длительность канального импульса длительности опорного импульса или меньше, операционный усилитель типа *TCA 335 A* запускается через транзистор *T3*. Конденсатор *C8* растягивает импульс, причем точное значение растягивания может быть установлено подстроечным резистором *R11*. Операционный усилитель работает в качестве высокочувствительного порогового выключателя, формирующего изменяемые по длительности прямоугольные импульсы правильной формы, необходимые для управления блоком усиления мощности.

Ячейки *G6* и *G7* интегральной схемы *IS2* образуют триггер, опрокидываемый только тогда, когда разностный импульс, формируемый при сравнении длительностей каналь-

Рис. 281
Управляющий блок регулятора хода (аппаратура *Multiplex*): *а* — принципиальная схема (транзистор T_e типа *BC 168*); *б* – расположение выводов интегральной схемы типа *555*; *в* — блок усиления мощности. В варианте 15/20 А транзистор *T1* – типа *BC 337*, *T2* — типа *BD 241*, *T3* типа *BD 249*. В варианте 8/10 А транзистор *T1* — типа *BC 168*, *T2* — типа *BD 135* или *BD 239*, *T3* — типа *2N 3055*; *г* — внешний вид



ного и опорного импульсов, изменяет свою полярность. Благодаря этому реле переключения полярности двигателя срабатывает только при отсутствии тока в транзисторе оконечного каскада *Т3*.

Припайкой перемычки *а* или *b* можно выбрать импульс нужной полярности, при которой якорь реле будет притягиваться. Использование дополняющих МОП-структур делает возможной работу блока управления в широком диапазоне напряжений питания от 3,5 до 7,5 В.

Блок усиления мощности (рис. 281, *в*) состоит из транзисторного каскада усиления мощности, выполненного по схеме Дарлингтона, и реле переключения полярности двигателя. Варианты блока (8 А/10 А и 15 А/20 А) различаются только типами транзисторов и формой охлаждающих радиаторов. При охлаждении вентилятором транзистор *Т3* может быть нагружен максимальным током до 10 (20) А.

Чтобы исключить падение напряжения на транзисторе оконечного каскада, составляющее около 1,5 В (при использовании мощных двигателей), транзистор *Т3* можно закорачивать с помощью переключателя скорости. Для этого предусмотрены соответствующие выводы.

Управление переключателем скорости (рис. 282) осуществляется по дополнительному канальному выходу приемника. Переключатель скорости имеет такую же схему и функционирует так же, как цепочка «переключатель полярности» в регуляторе хода. Опорный импульс и здесь поступает на синхронизирующий каскад, собранный на интегральной схеме типа *555*. Импульсы обрабатываются двумя интегральными схемами (типа *4011*) на дополняющих МОП-структурах. Работой реле управляют транзисторы *Т1* и *Т2*. Припайкой перемычки *а* или *b* можно выбрать направление, отклонение в котором ручки

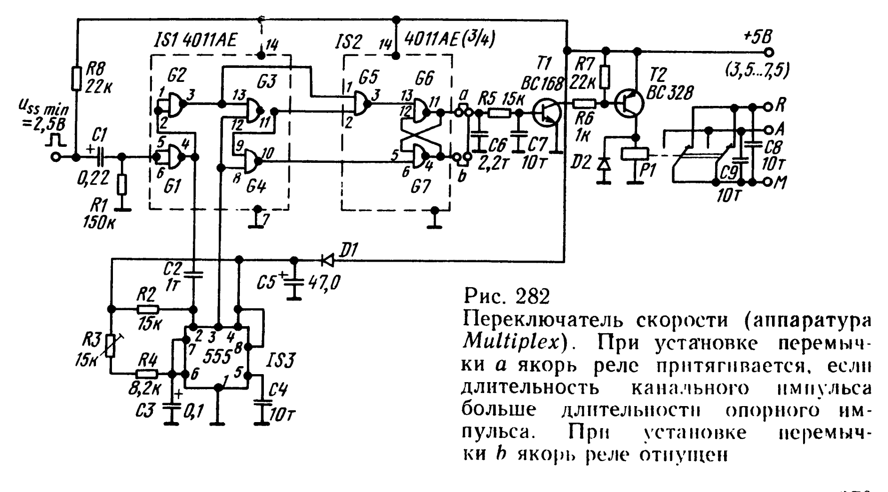


Рис. 282
Переключатель скорости (аппаратура *Multiplex*). При установке перемычки *а* якорь реле притягивается, если длительность канального импульса больше длительности опорного импульса. При установке перемычки *b* якорь реле отпущен

управления до упора вызовет срабатывание реле. Момент срабатывания реле устанавливается подстроечным резистором *R3* в генераторе опорных импульсов.

8.1.7. Аппаратура *Varioprop FM*

Усовершенствованным вариантом аппаратуры *Varioprop 12* (рис. 47) является аппаратура *Varioprop FM*. Импульсный блок для нее (рис. 283) почти не отличается от такого же блока первого варианта (с амплитудной модуляцией). Динамический генератор задает время такта для последовательностей импульсов и одновременно запускает генератор канальных импульсов. К генератору канальных импульсов через регистр сдвига, собранный на интегральной схеме *IS1* типа *SN 74 L 164 N*, подключены канальные потенциометры (датчик команд), расположенные по порядку каналов. Максимальную (2,23 мс) и минимальную (0,85 мс) длительности канальных импульсов для всех каналов устанавливают с помощью подстроечных резисторов *R19* и *R22*. Подбором сопротивлений резисторов *R2, R4, R6, R8, R10* и *R12* точно находят средние положения ручек управления. Штекерные соединения позволяют располагать канальные потенциометры в датчике команд в любом порядке.

Как и передатчик с амплитудной модуляцией, передатчик аппаратуры *Varioprop FM* выполнен трехкаскадным. Частотную модуляцию получают, растягивая в пределах ±0,15 кГц частоту кварцевого резонатора (*f*/2) с помощью варикапа в такт с импульсами модуляции. Для эффективного подавления гармоник антенна подключена через двойной П-фильтр.

В приемнике с частотной модуляцией (рис. 284) также использованы интегральные схемы типа *SO 42 E* и *SO 41 E*. Операционный усилитель (интегральная схема типа *TAA 865 A*) предназначен для усиления импульсов. Канальные и синхронизирующие импульсы разделяются такой же схемой, как и в приемнике с амплитудной модуляцией (рис. 155). Поэтому к приемнику аппаратуры *Varioprop FM* можно подключать модуль декодирующего устройства приемника аппаратуры.

Применение частотной модуляции позволило усовершенствовать не только передатчик и приемник, но и исполнительные устройства. Благодаря разработке нового модуля декодирующего устройства стало возможным подключение сервомеханизмов или парусных лебедок с электронными схемами. Несмотря на это системный принцип построения аппаратуры *Varioprop* сохранен, модули сервомеханизмов и декодирующих устройств с исполнительными механизмами можно одновременно подключать к модулю приемника.

У восьмиканального модуля декодирующего устройства *SC* с четырьмя канальными выходами (рис. 285) четыре каска-

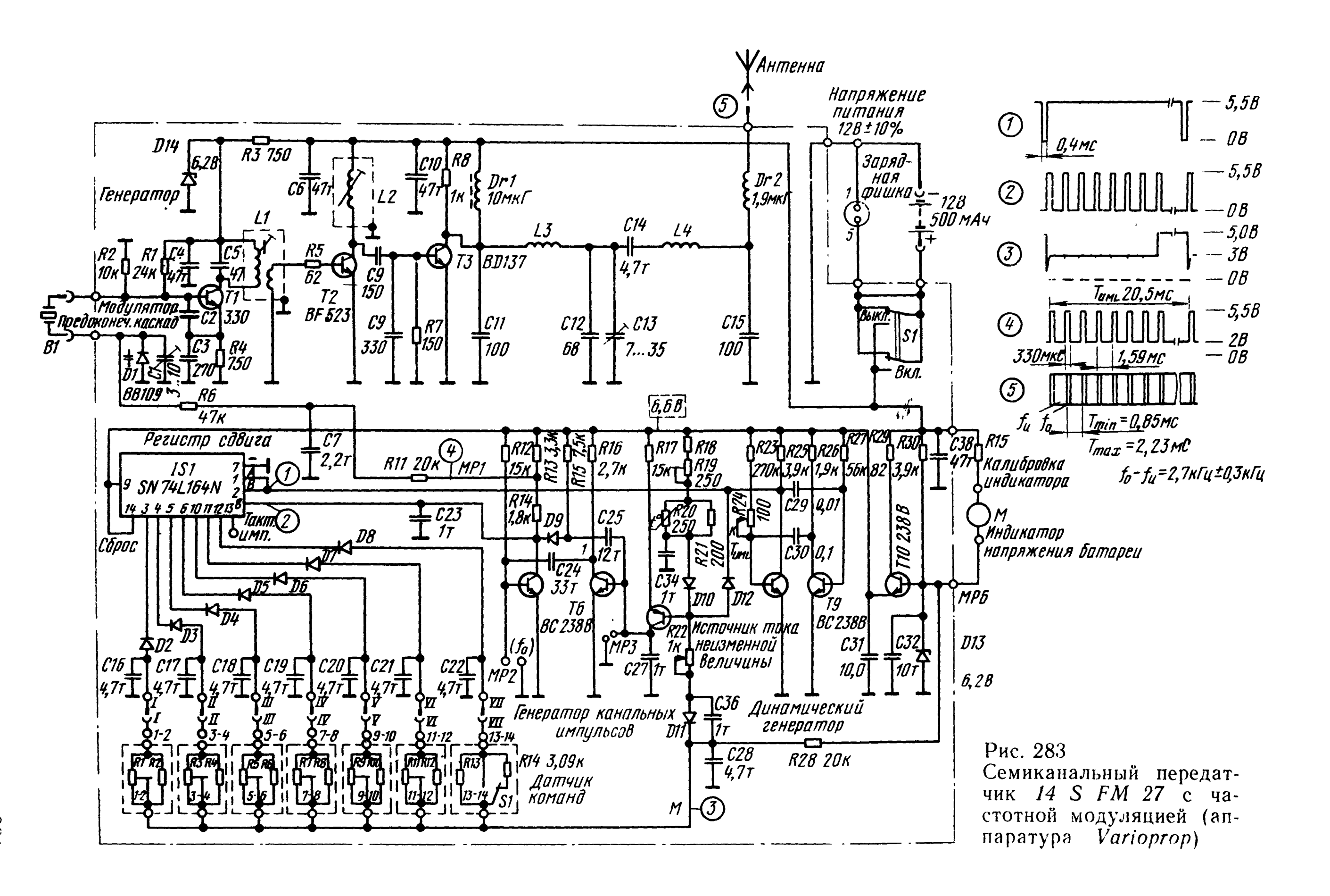


Рис. 283
Семиканальный передатчик *14 S FM 27* с частотной модуляцией (аппаратура *Varioprop*)

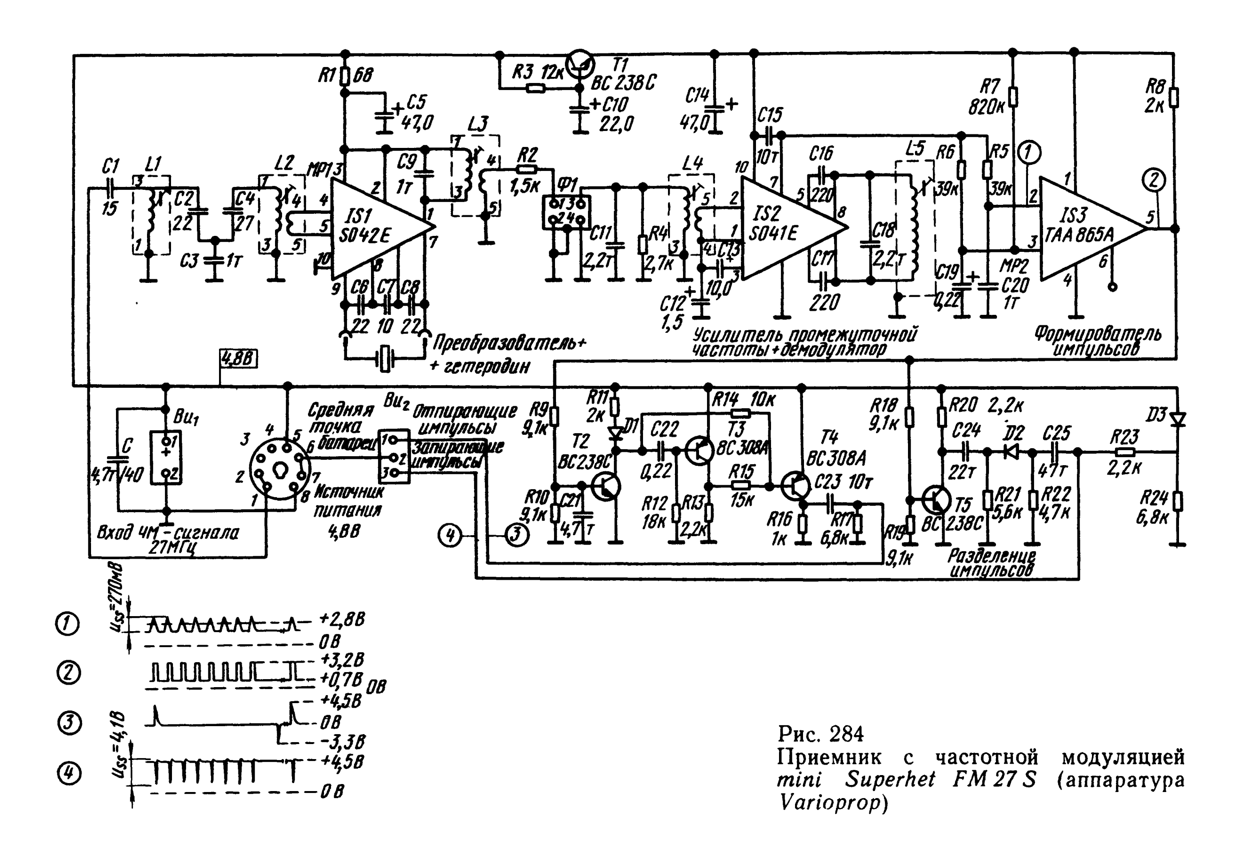


Рис. 284
Приемник с частотной модуляцией *mini Superhet FM 27 S* (аппаратура *Varioprop*)

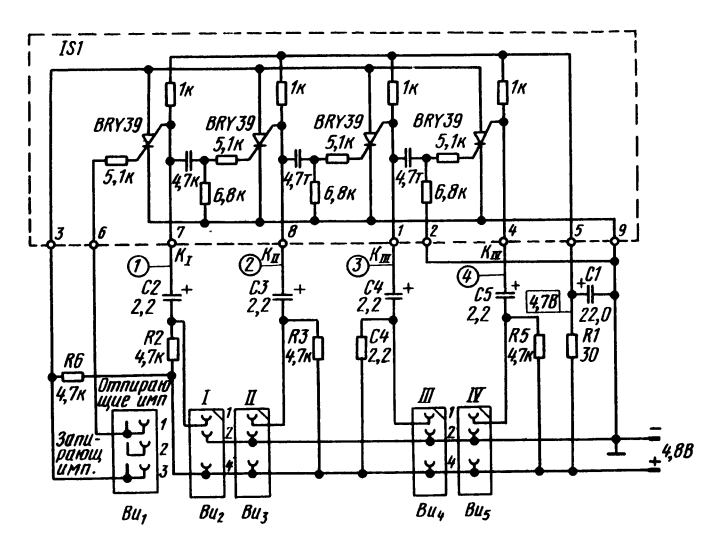


Рис. 285
Восьмикомандное декодирующее устройство *SC* (аппаратура *Varioprop*)

да регистра сдвига на четырехслойных диодах типа *BRY 39* объединены в одну гибридную интегральную схему. В предыдущем варианте аппаратуры эти регистры сдвига размещены в соответствующем модуле сервомеханизма (рис. 73 и 75). *RC*-цепочки *C2, R2; C3, R3; C4, R4* и *C5, R5* предназначены для развязки сервомеханизмов по постоянному току. Эти *RC*-цепочки образуют, собственно, уже вход сервоэлектроники (рис. 286), но из-за экономии места установлены не в сервомеханизме, а в модуле декодирующего устройства.

В первом варианте сервомеханизма (*CO 5*) для аппаратуры *Varioprop* вся электронная схема была реализована с помощью интегральной схемы типа *SN 28654*, являющейся усовершенствованным вариантом интегральной схемы типа *WE 3141* (рис. 76), которая была первой интегральной схемой, предназначенной для сервомеханизмов аппаратуры цифрового пропорционального управления моделями. Недостатками интегральной схемы типа *WE 3141* были ограниченная выходная мощность, которая составляет около 400 мВт и при полной нагрузке сервомеханизма может привести к перегрузке интегральной схемы или к слишком малому усилию перекладки, и нелинейность пути перекладки, величины которого по обе стороны нулевого положения различны.

Интегральная схема типа *SN 28654* лишена этих недостатков. Она рассчитана на максимальную выходную мощность 800 мВт и максимальный выходной ток 400 мА, поэтому даже блокированный сервомеханизм не приводит к перегрузке оконечного каскада. Регулирующий потенциометр

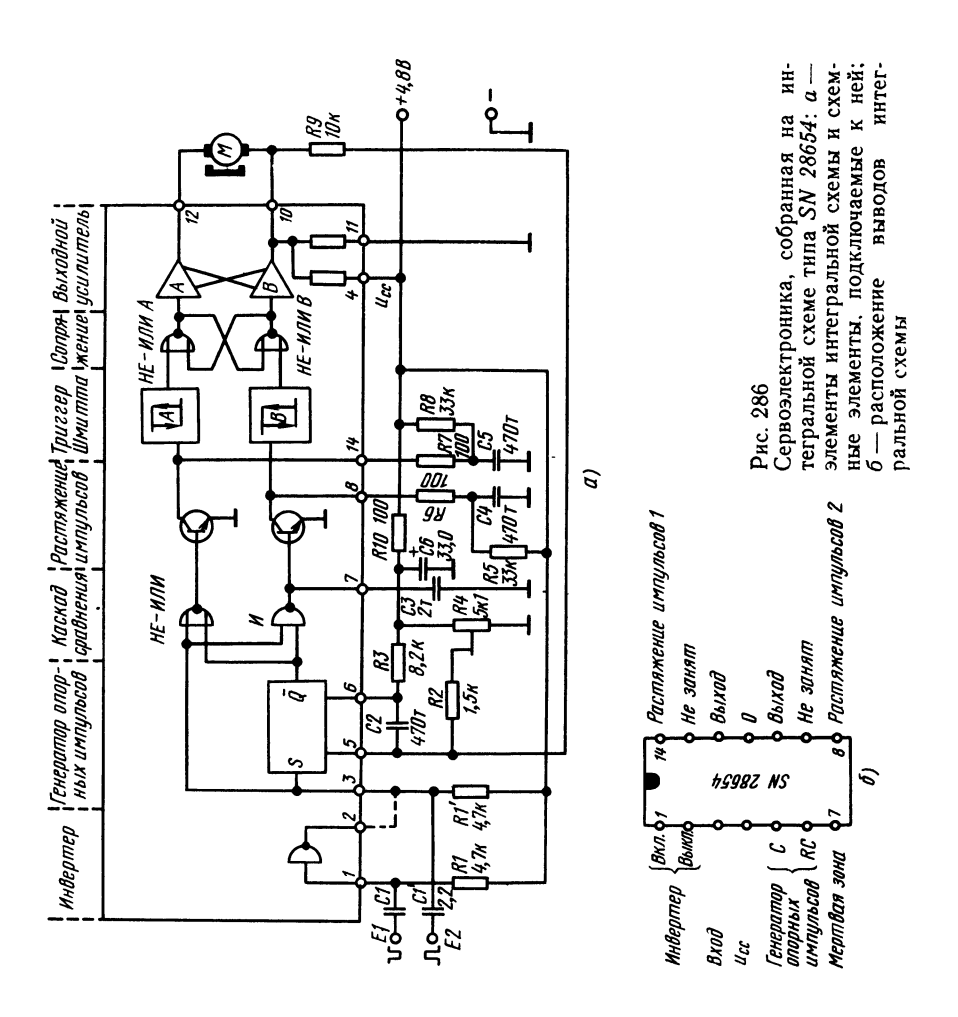


Рис. 286 Сервоэлектроника, собранная на интегральной схеме типа *SN 28654*: *а* — элементы интегральной схемы и схемные элементы, подключаемые к ней; *б* — расположение выводов интегральной схемы

в генераторе опорных импульсов выполнен теперь не в виде добавочного резистора, а в виде потенциометра. В схеме типа *SN 28654* только коэффициент деления на регулирующем потенциометре определяет длительность опорного импульса, что обеспечивает значительно меньшую зависимость пути перекладки от напряжения и лучшую линейность пути.

Интегральная схема *SN 28654* содержит такие же функциональные группы, как и сервоэлектроника на транзисторах. Благодаря инвертору на входе на интегральную схему можно подавать положительные и отрицательные импульсы. Дополнительную надежность обеспечивает развязка по постоянному току с помощью *RC*-цепочки *R1, C1*.

При прекращении по каким-либо причинам подачи команд передатчиком сервомеханизм

остается в том же положении и потребляет только ток покоя. Если бы вход был непосредственно связан с декодирующим устройством (без промежуточного конденсатора), то при отсутствии сигнала передатчика (например, при его выключении) на канальный выход мог случайно быть подан потенциал *H*. Для сервоэлектроники это равносильно подаче импульса бесконечной длительности, что приведет к переходу сервомеханизма через крайнее положение и блокировке. Хорошо, если это не вызовет повреждения редуктора. Продолжая работу в режиме торможения, двигатель будет потреблять максимальный ток. Если ни двигатель, ни интегральная схема не выйдут из строя, то аккумулятор приемника будет разряжен за очень короткое время. При использовании аккумуляторов, способных выдерживать большие нагрузки и имеющих повышенную емкость (1—1,2 А·ч), более вероятны повреждения сервомеханизма — редуктора, двигателя или интегральной схемы.

При отрицательных канальных импульсах (аппаратура *Varioprop*) цепочку *R1, C1* подключают к выводу *1*, а выводы *2* и *3* соединяют перемычкой. В случае положительных канальных импульсов (аппаратура *Start dp, Multiplex, Simprop)* перемычку между выводами *2* и *3* снимают и ставят цепочку *R1, C1*.

Длительность опорного импульса, формируемого генератором опорных импульсов, устанавливается подбором номиналов схемных элементов, подключаемых снаружи к выводам *5* и *6*. Номиналы резистора *R3* и конденсатора *C2* определяют среднюю длительность опорных импульсов, а напряжение, снимаемое с потенциометра *R4* — пределы изменения длительности этих импульсов.

Пределами изменения длительности опорных импульсов (обычно ±0,5 мс) устанавливают также пределы угла поворота потенциометра *R4* и пути перекладки сервомеханизма, связанного с потенциометром *R4* через серворедуктор. Так как напряжение, снимаемое с потенциометра *R4,* оказывает влияние на положение сервомеханизма и на точность отработки команд, напряжение, подаваемое на этот потенциометр, развязано по отношению к источнику питания с помощью цепочки *R10, C6*. Во многих случаях напряжение на регулирующем потенциометре дополнительно стабилизируется.

В каскаде сравнения производится цифровое сопряжение канального и опорного импульсов. Полученный разностный импульс управляет работой каскада растяжения импульсов. Поскольку различные образцы аппаратуры дистанционного управления работают при различном времени такта — от 18 до 30 мс (см. табл 7), пауза между двумя следующими друг за другом канальными импульсами должна быть перекрыта за счет их растяжения (рис. 287). Указанные

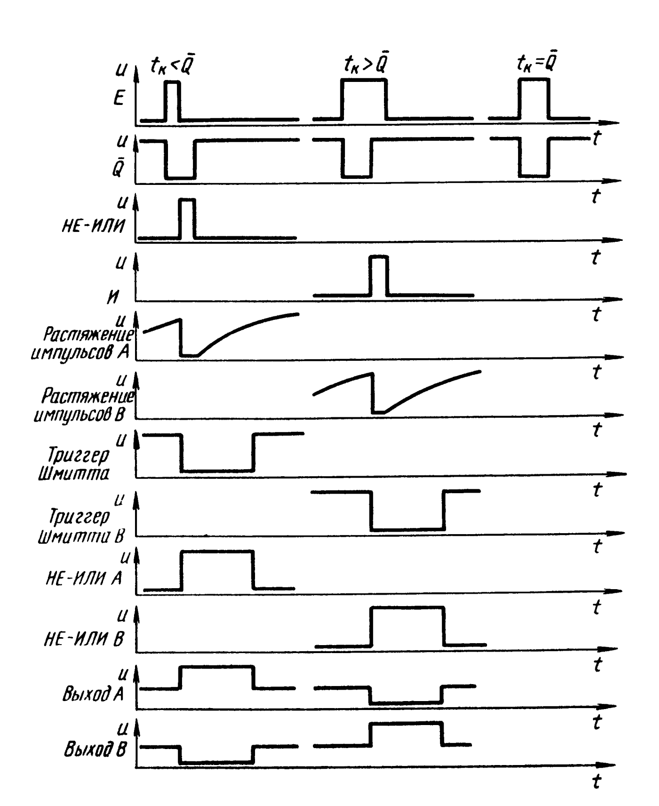


Рис. 287
Импульсные диаграммы интегральной схемы типа *SN 28654*

емкости конденсаторов *С4* и *С5* достаточны для длительности последовательности импульсов, равной 20 мс. При длительности, превышающей 20 мс, эти емкости должны иметь бóльшие величины.

Растянутый разностный импульс с помощью триггера Шмитта снова формируется в прямоугольные импульсы правильной формы, которые затем сопрягаются логическими схемами *НЕ-ИЛИ А* и *В* и усиливаются в выходном усилителе. Плечи *А* и *В* выходного усилителя блокируются включенным перед ним триггером (*НЕ-ИЛИ А* и *НЕ-ИЛИ В*), чтобы в случае появления на обоих входах равных сигналов не были открыты одновременно оба плеча усилителя, что соответствовало бы внутреннему короткому замыканию.

Благодаря цифровой обработке сигналов после растяжения импульсов питание серводвигателя осуществляется импульсами постоянного тока. Выходной усилитель включен по схеме моста, поэтому каждое его плечо подает на двигатель напряжение, рассчитанное на правое или левое вращение, но вдвое меньшее необходимого для вращения.

Привод двигателя с по-

мощью импульсов постоянного тока имеет значительное преимущество по сравнению с аналоговым управлением при использовании транзисторных схем. После подачи команды на двигатель он сразу получает полное напряжение и даже при минимальных путях перекладки мгновенно развивает полный крутящий момент. Наряду с большим пусковым усилением применение этого метода обеспечивает также большую точность отработки и повторяемости команд.

Из-за выполнения выходного каскада в виде мостового усилителя необходим средний отвод от батареи аккумуляторов приемника (±2,4 В), поэтому сервокабель должен быть четырехжильным. Мостовой усилитель, кроме того, равномерно нагружает все аккумуляторы батареи, что не достигается при использовании транзисторных схем.

Сопротивление резистора *R9*, равное 10 кОм, обеспечивает относительно сильное демпфирование, которое требуется для быстроходных сервомеханизмов и легкоходовых, с малым передаточным отношением редукторов. В большинстве случаев сопротивление резистора *R9* больше 10 кОм.

При равенстве канального и опорного импульсов ток, текущий через двигатель, равен нулю (рис. 287). Сервомеханизм потребляет только ток покоя, равный примерно 10 мА, и ток, текущий через интегральную схему.

Величина мертвой зоны сервомеханизма, в пределах которой может изменяться длительность канального импульса без управляющего воздействия на двигатель, определяется номиналами внешних элементов, подключаемых к выводу *7*. При выборе величины мертвой зоны (на практике ее минимальное значение принимают равным ±3 мкс) приходится идти на компромисс. Она должна быть малой, чтобы точность отработки команд оставалась в пределах 1% (в производственной аппаратуре даже 0,5%), но не слишком, чтобы при небольших колебаниях длительности канальных импульсов, обусловленных изменениями температуры и напряжения, сервомеханизм оставался в покое. Чрезмерно малые размеры зоны приводят к подергиваниям двигателя и редуктора, а также к преждевременному разряду аккумулятора приемника. Расширить пределы мертвой зоны можно увеличением емкости конденсатора *С2*.

Интегральная схема типа *SN 28654* (рис. 288) использована в сервомеханизме *С 05* аппаратуры *Varioprop*, работающей при отрицательных канальных импульсах, которые подаются на инвертор и затем, как положительные импульсы, через перемычку между выводами *2* и *3* — на вход сервоэлектроники. Если этот сервомеханизм должен быть установлен в аппаратуре, работающей с положительными канальными импульсами (*Start dp, Simprop, Multiplex, Microprop* и большинство самодельной аппаратуры), то перемыч-

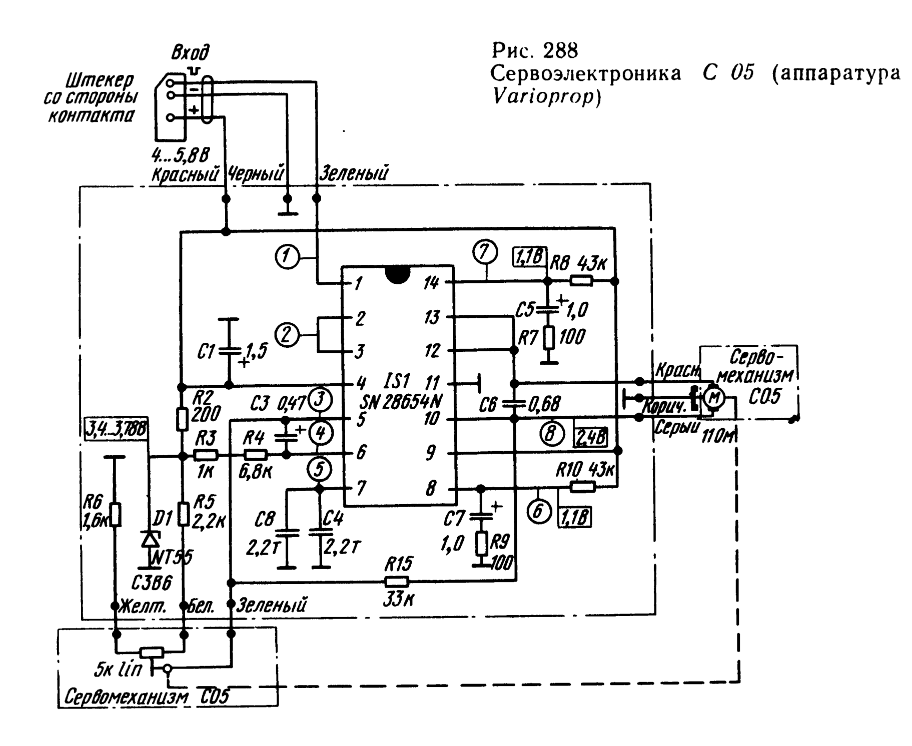


Рис. 288
Сервоэлектроника *C 05* (аппаратура *Varioprop*)

ку между выводами *2* и *3* снимают и в качестве входа используют вывод *3*. Для ограничения входного тока перед выводом *3* последовательно включают резистор сопротивлением 22 кОм. Вход должен быть развязан по постоянному току (см. схему *RC*-цепочки на рис. 286,*а*).

Схема этого сервомеханизма отличается от схемы, представленной на рис. 286. Напряжение питания генератора опорных импульсов стабилизировано, благодаря чему обеспечена очень высокая точность отработки команд даже в экстремальных случаях.

Так как сервомеханизм оснащен двигателем с колоколообразным якорем, обладающим малым моментом инерции и обеспечивающим короткое время разгона, мертвая зона расширена с помощью установки конденсаторов *C4, C8* общей емкостью 4,4 тыс. пФ, а демпфирование отсутствует. Благодаря этому сервомеханизм быстро и точно занимает необходимое положение.

Растяжение импульсов устанавливается подбором емкостей конденсаторов *C7, C5* до получения длительности последовательности импульсов, равной 20 мс (для аппаратуры *Varioprop*). Достаточное подавление помех, создаваемых серводвигателем, обеспечивается конденсатором *C6*.

Импульсные диаграммы показаны на рис. 289.

В сервомеханизмах *CL* и *CR* установлены интегральные схемы типа *SAK 150,* представляющие собой усовершенствованный вариант схемы типа *SAK 100*. Схему типа *SAK 150* можно использовать не только в сервоэлектронике, но и в других исполнительных механизмах. В простейших случаях, например, при использовании электродвигателя на авиамодели, достаточно переключателя скорости. Такой переключатель (типа «включено-выключено») можно устанавливать вместе с выключателем *Пилот* (рис. 290). Кроме того, пользуясь вторым реле, можно менять полярность напряжения, подаваемого на двигатель, дополнительно получая возможность изменять направление его вращения. А после установки порогового выключателя можно отключать аккумулятор при достижении им конечного тока разряда.

Для реализации всех этих функций к интегральной схеме типа *SAK 150* подключают соответствующие схемные элементы. К выходным выводам *5* и *10* подключают релейные каскады переключения, собранные на транзисторах *T4, T5* и *T6, T7*. Подключение конденсатора *C3* емкостью 0,1 мкФ расширяет порог срабатывания схемы. При выводе

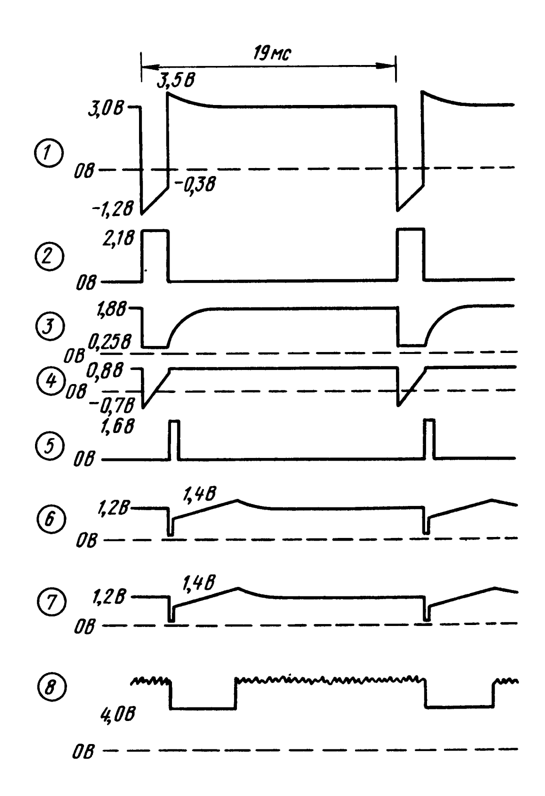


Рис. 289
Импульсные диаграммы сервоэлектроники *C 05*

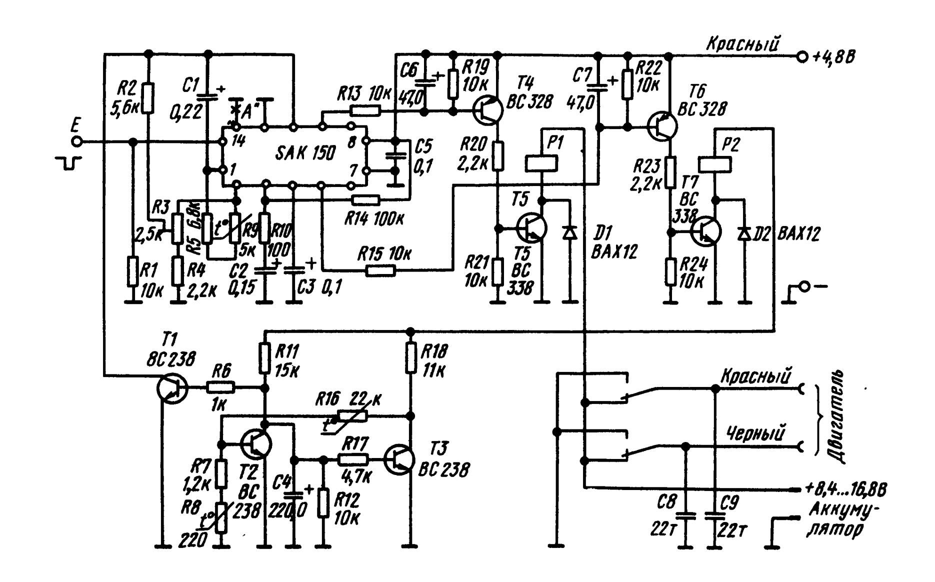


Рис. 290
Электронный выключатель *Пилот* (аппаратура *Varioprop*). Потенциометр *R16* предназначен для установки напряжения выключателя в пределах 5.5—12 В

ручки управления из среднего положения притягивается якорь одного реле, при переводе ручки управления в противоположную сторону — якорь другого реле. Состояние «якоря обоих реле отпущены» устанавливается потенциометром *R9* при нейтральном положении ручки управления. Ход, т. е. величину отклонения ручки, при котором срабатывает реле, с помощью потенциометра *R3* в большинстве случаев устанавливают равным половине полного отклонения ручки, чтобы предотвратить возможность включения двигателя при небольших ее отклонениях.

Напряжение питания на пороговый выключатель, собранный на транзисторах *T2* и *T3*, подается от аккумулятора питания двигателя. Требуемое напряжение выключения можно установить подбором сопротивления резистора *R16*. При достижении напряжением аккумулятора своей конечной величины при разряде, настроенный на нее пороговый выключатель переключается и напряжение через транзистор *T1* поступает на средний вывод интегральной схемы. Вследствие этого якоря обоих реле остаются непритянутыми.

Иногда комплексный схемный узел выключателя *Пилот* не нужен, еще чаще необходима комбинация переключателя скорости с защитным выключателем, предотвращающим повреждение аккумулятора при его разряде ниже предельной величины. В таких случаях выключатель подключают к реле и используют от-

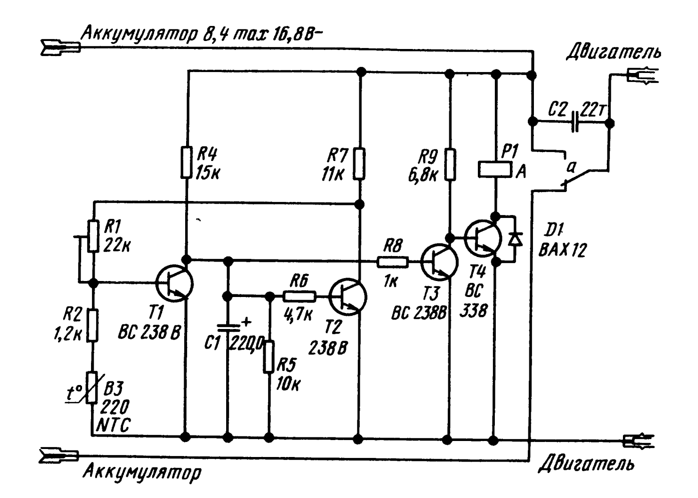


Рис. 291 Автоматический защитный выключатель *Volt Controller* (аппаратура *Varioprop*). Потенциометр *R1* предназначен для установки напряжения выключателя в пределах 5,5—12 В

дельно как защитный выключатель *Volt Controller* (рис. 291).

Напряжение выключения можно установить с помощью потенциометра *R1*. Влияние колебаний температуры компенсируется термистором *R3*. Чтобы выключатель *Volt Controller* не срабатывал при кратковременных колебаниях напряжения, например, при повторных включениях двигателя, в схему вводят конденсатор *C1* относительно большой емкости. Благодаря этому выключатель срабатывает только при медленных изменениях напряжения.

Схема регулятора хода аппаратуры *Varioprop* (рис. 292) отличает его от стандартных вариантов регулятора. Он имеет некоторые особенности и предназначен преимущественно для регулирования приводов судомоделей при граничных значениях 20 А, 13 В. Для обработки импульсов установлены две интегральные схемы типа *4011* на дополняющих МОП-структурах. Ячейки *G1* и *G2* образуют генератор опорных импульсов. Сопряжение импульсов осуществляют остальные ячейки. На выходе ячейки *G6* появляются переменные по длительности разностные импульсы, которые усиливаются транзистором *T2* и растягиваются по длительности конденсатором *C5*. Дальнейшее усиление импульсов производится транзисторами *T3—T8*.

В оконечном каскаде установлено два параллельно включенных германиевых транзистора (*T7* и *T8*). Раздельная раскачка транзисторов *T5* и *T6*, а также установка симметрирующего резистора *R19* позволили равномерно нагрузить оба транзистора оконечного каскада. Благодаря установке германиевых транзисторов мощность потерь значительно снижена, так как у них напряжение $U_{CErest} \approx$ $\approx 0{,}5$ В, а у кремниевых транзисторов оно составляет примерно 1,5 В. Параллельное

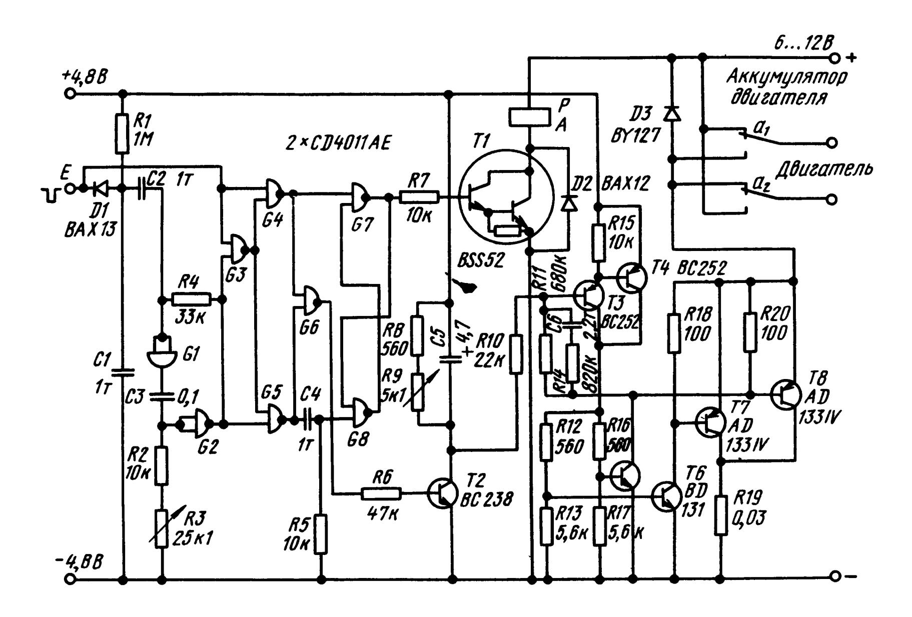


Рис. 292
Регулятор хода с переключателем полярности (аппаратура *Varioprop*) Потенциометр *R3* предназначен для установки среднего положения, *R9* — режима полной нагрузки

включение транзисторов оконечного каскада уменьшает падение напряжения на них еще в два раза. Хотя падение напряжения на резисторе *R19* (при полной нагрузке $U_{R19} = 20\ А \cdot 0{,}03\ Ом = 0{,}6\ В$) в этом варианте включения должно быть прибавлено к значению U_{CErest}, потери здесь, особенно в области частичных нагрузок, меньше, чем при одном кремниевом транзисторе.

Управление реле переключения полярности осуществляется схемой Дарлингтона (*T1*). Триггер (на ячейках *G7* и *G8*) изменяет свое состояние при смене полярности разностного импульса. Схема *T1* открывается только тогда, когда на выходе ячейки *G7* появляется потенциал *H*. Нейтральное положение устанавливают потенциометром *R3* в генераторе опорных импульсов, находя требуемую постоянную длительность опорных импульсов. Так как регулировку потенциометром *R3* можно производить снаружи регулятора хода, нейтральное положение соответствующей ручки управления можно фиксировать при любом угле ее отклонения, даже не в ее среднем положении.

Величину растяжения импульсов и полной нагрузки устанавливают потенциометром *R9*. Если по каким-либо причинам нейтральное положение должно отличаться от среднего, то выполняют подстройку с помощью этого потенциометра. Транзисторы *T7*

и *T8* должны полностью открываться только при разностных импульсах максимальной длительности, так как в ином случае не соблюдается пропорциональность характеристик управления при полной нагрузке.

8.1.8. Аппаратура *Alpha-Contest*

Аппаратура *Alpha-Contest* является усовершенствованным вариантом аппаратуры *Alpha 2007*. Изменения вызваны введением в схемы передатчика, приемника и исполнительных устройств интегральных схем.

Схема передатчика (рис. 293) подобна схемам передатчиков других образцов аппаратуры дистанционного управления.

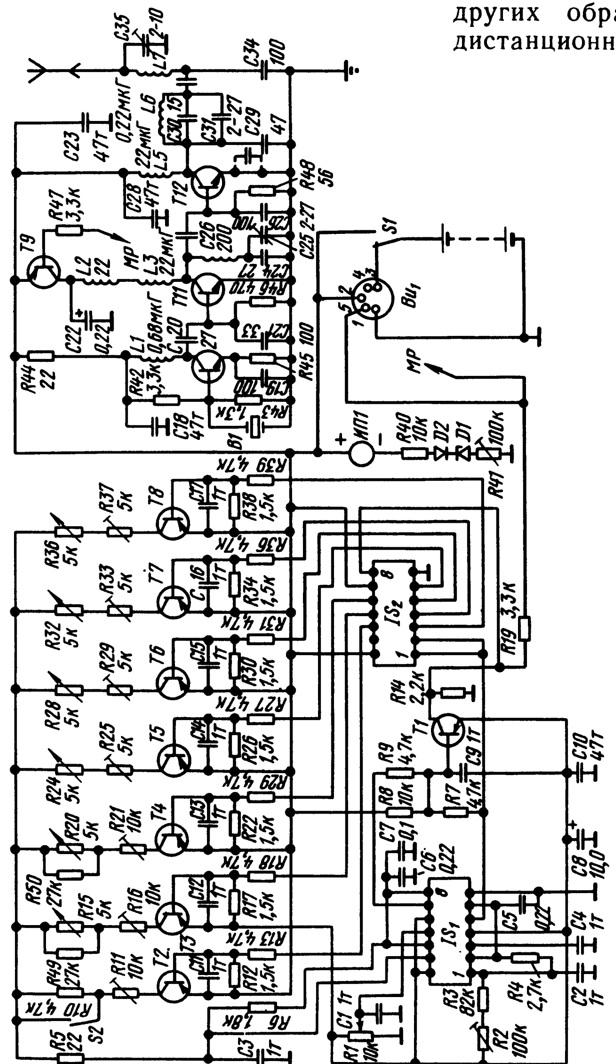


Рис. 293
Семиканальный передатчик с амплитудной модуляцией *Alpha Contest 7* (аппаратура *Simprop*)

На интегральной схеме *IS1* собраны генератор тактовых импульсов для последовательности импульсов и синхронизирующий каскад для канальных импульсов. Канальные потенциометры подключены через регистр сдвига (на интегральной схеме *IS2*) и транзисторные переключатели (на транзисторах *T2-T8*). Высокочастотный блок почти не отличается от блока аппаратуры *Alpha 2007*.

Приемник (рис. 294) собран на транзисторах и *LC*-фильтрах. Для обработки импульсов в приемнике, а также в ис-

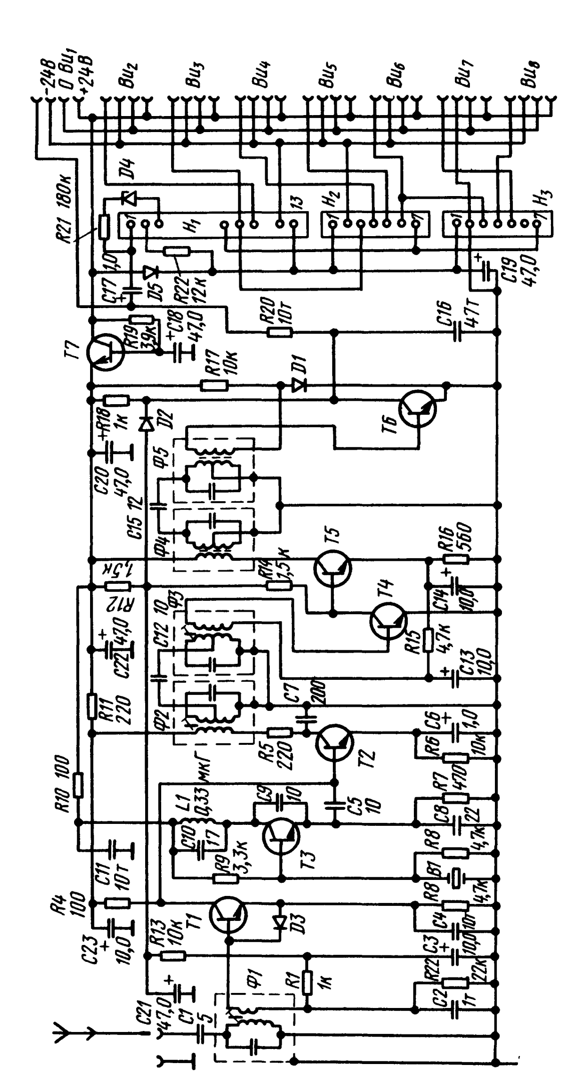


Рис. 294
Семиканальный приемник *Alpha Contest 7* (аппаратура *Simprop*). Диод *D1* — специальный типа *D101*, диоды *D2*, *D3*, *D5* — типа *1N416*, диод *D4* — типа *BZX 75C2V8*. Транзисторы *T1*, *T2* — типа *BF 199*, *T3*, *T4*, *T5*, *T7* — типа *S 7355*, *T6* — специальный типа *T207*. Фильтр *F1* — типа *5157 M/R 4516*, *F3*, *F4* — типа *LMC 4101 sw*, *F2*, *F5* — типа *LMC 4202 sw*

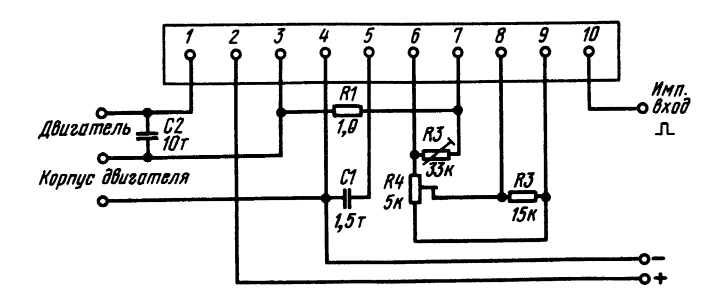


Рис. 295.
Сервоэлектроника (аппаратура *Simprop*)

полнительных механизмах использованы специальные гибридные интегральные схемы. Поэтому здесь отсутствуют многочисленные внешние схемные элементы, необходимые при использовании других интегральных схем. Конструкция получилась малогабаритной и жесткой.

К аппаратуре разработаны специальная сервоэлектроника (рис. 295) и переключающее реле (рис. 296).

Электронный переключатель хода (рис. 297) собран также с применением современной электроники. Обработка им-

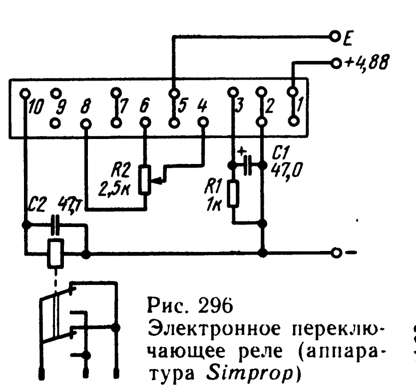


Рис. 296
Электронное переключающее реле (аппаратура *Simprop*)

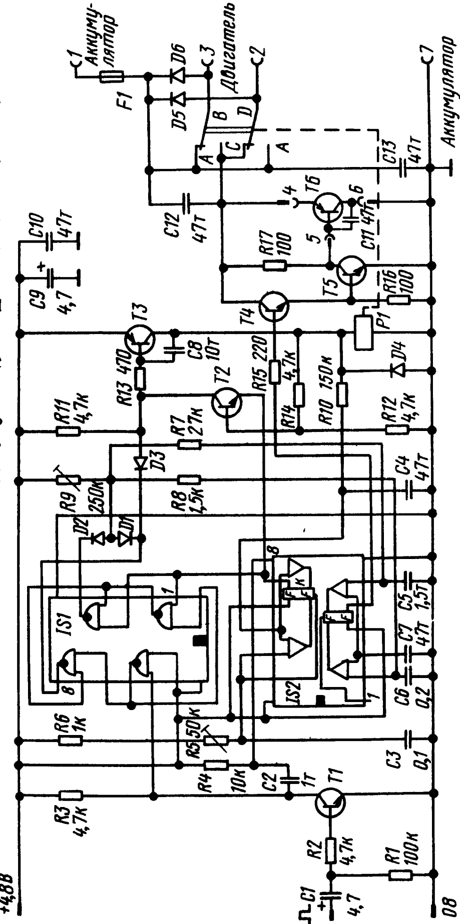


Рис. 297
Электронный переключатель хода (аппаратура *Simprop*)

пульсов производится интегральной схемой *IS1*, а сдвоенная синхронизирующая схема, в основе которой интегральная схема *IS2*, управляет работой переключающего реле и растягивает разностные импульсы. Растянутые разностные импульсы усиливаются до соответствующей мощности последовательно включенными транзисторами *T4—T6*. Транзистор оконечного каскада *T6* закреплен на отдельном теплоотводящем корпусе и соединен с электронной схемой кабелем со штекерным разъемом. Благодаря этому устранено влияние его нагрева на схему.

8.1.9. Электронный регулятор хода с реле переключения полярности

Регулятор собирают в любительских условиях из имеющихся в продаже схемных элементов (рассчитанных на 10 А, 24 В) и предназначают для работы с любительской или промышленной аппаратурой, в которой используются положи-

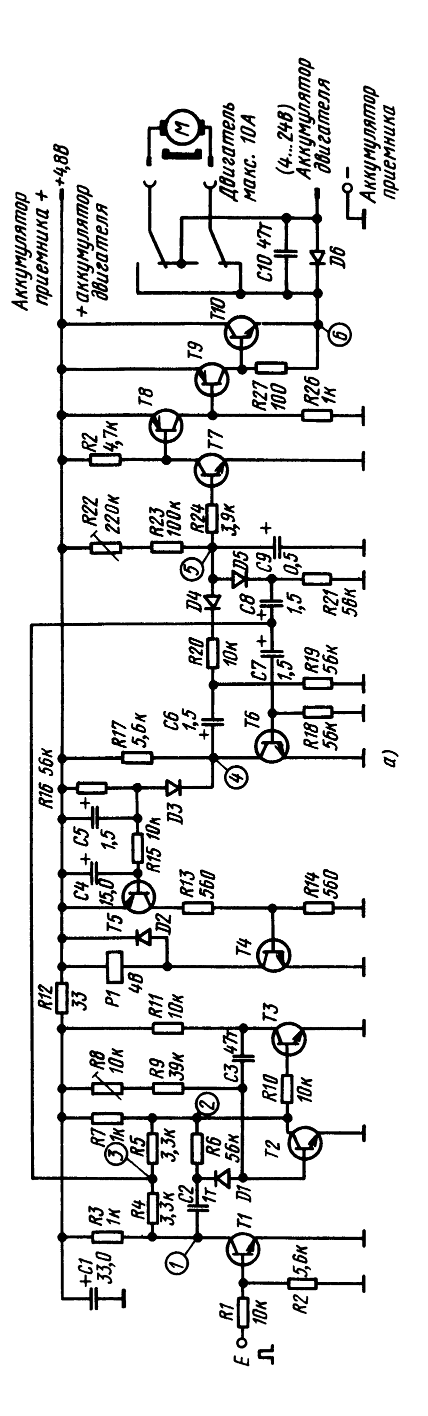
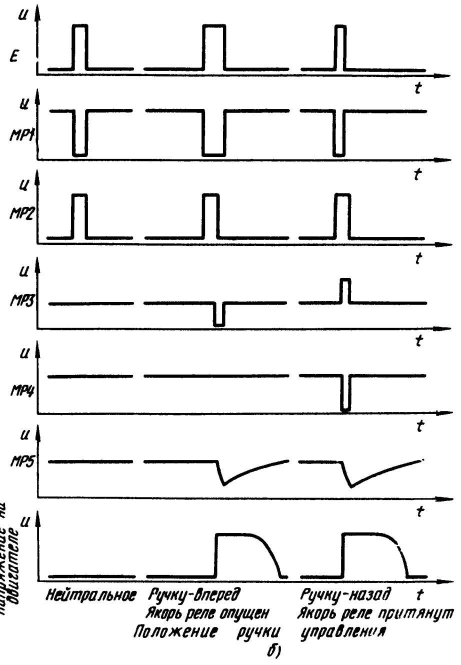
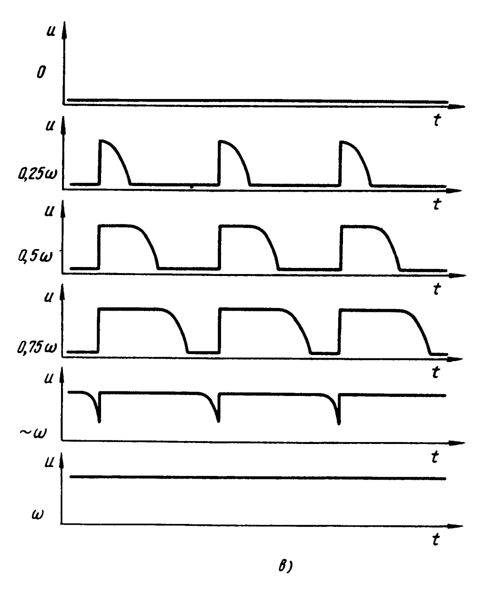


Рис. 298
Электронный регулятор хода с реле переключения полярности: *а* — принципиальная схема. Транзисторы *T1-T4, T6, T7*—типа *SF 136, T5, T8*—типа *BC 308* или *KSY 81, T9*—типа *BC 328* или *KF 517, T10*— типа *2 N 3055* или *KU 605, KD 501*. Диоды *D1-D5* —типа *SAY 30, D6* — типа *SY 202*, *б* — импульсные диаграммы; *в* — изменение напряжения на клеммах двигателя при различных режимах хода (в аппаратуре с временем такта, превышающим 15 мс, емкость конденсатора *C9* должна быть увеличена до 1 или даже до 2 мкФ). ω — максимальная частота вращения двигателя





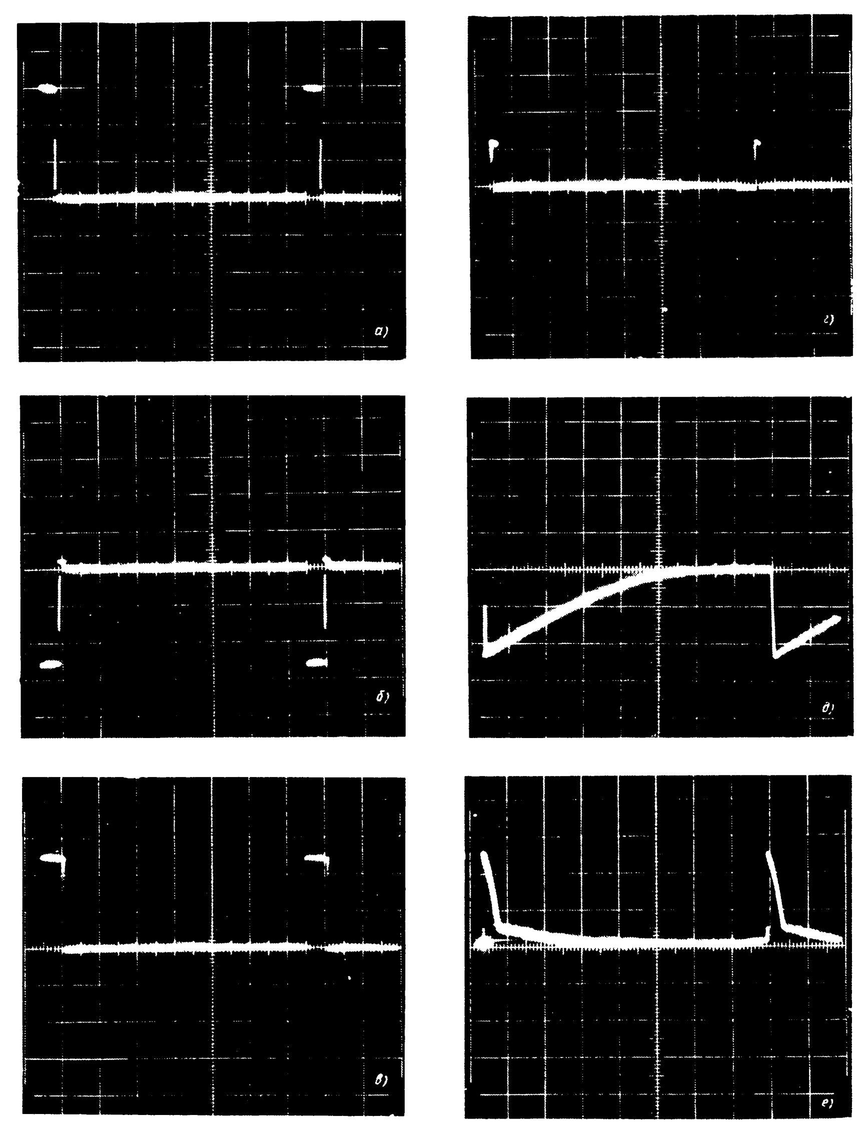
тельные канальные импульсы длительностью 1,6±0,5 мс. Длительность импульсов можно при этом изменять.

Регулятор хода оснащен реле переключения полярности, что позволяет ограничиться только одним аккумулятором и одним оконечным каскадом. При любом направлении вращения двигатель, если его реверс предусмотрен, имеет одинаковые характеристики управления и одинаковые мощности, все аккумуляторы батареи нагружены и разряжаются равномерно.

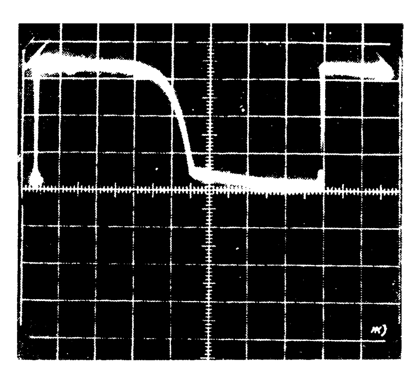
Положительный канальный импульс преобразуется транзистором *T1* в отрицательный (точка *MP1*, рис. 298, 299), который через резистор *R4* поступает в точку сравнения *MP3*. Передний фронт канального импульса, проходя через конденсатор *C2*, опрокидывает моностабильный мультивибратор, собранный на транзисторах *T2* и *T3*.

Мультивибратор работает в качестве генератора опорных импульсов и формирует положительный опорный импульс (в точке *MP2*), который через резистор *R5* поступает в точку сравнения. Если образующийся разностный импульс отрицателен, то через конденсатор *C8* и диод *D5* он поступает в точку *MP5* и заряжает конденсатор *C9*. При этом заряд конденсатора *C9* прямо пропорционален длительности импульса.

Конденсатор растягивает импульс, чтобы перекрыть равную примерно 20 мс паузу до прихода следующего ка-



нального импульса. В течение этой паузы конденсатор *C9* разряжается через резисторы *R22* и *R23*. Степень растяжения можно точно установить с помощью подстроечного резистора *R22*. При отсутствии импульса в точке *MP5* транзистор *T7* открыт, транзистор *T8* также открыт (за счет гальванической связи), транзисторы *T9* (являющийся *p-n-p*-транзистором) и *T10* заперты. Короткий импульс, приходящий в точку *MP5*, растягивается конденсатором *C9*, благо-



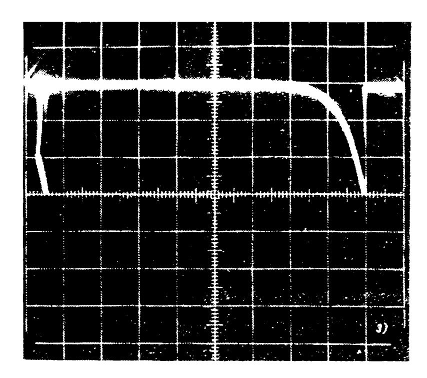


Рис. 299
Осциллограммы, снятые на регуляторе хода, представленном на рис. 298: *а* — канальные импульсы в точке *E*; *б* — канальные импульсы, преобразованные в отрицательные, в точке *MP1*; *в* — опорные импульсы в точке *MP2*; *г* — разностные импульсы в точке *MP3*; *д* растянутые разностные импульсы в точке *MP5*; *е* — напряжение на клеммах двигателя в режиме «пуск»; *ж* — напряжение на клеммах двигателя в режиме «половинная нагрузка»; *з* — напряжение на клеммах двигателя в режиме «полная нагрузка»

даря чему транзисторы *T7*, *T8*, *T9* и транзистор оконечного каскада *T10* открываются. Таким образом, в зависимости от длительности канального импульса транзистор *T10* может переходить в состояние от полностью запертого, через кратковременно открытое, до полностью открытого. Частота вращения двигателя зависит, следовательно, не от величины напряжения, а от длительности импульса напряжения, которая может изменяться.

Если разностный импульс в точке *MP3* положителен, то диод *D5* заперт. Положительный остаточный импульс преобразуется транзистором *T6* в отрицательный и через конденсатор *C6*, резистор *R20* и диод *D4* поступает в точку *MP5*, играя роль отрицательного разностного импульса. Одновременно положительный разностный импульс (преобразованный в отрицательный) через диод *D3* и резистор *R15* управляет работой транзисторов *T5* и *T4*. При поступлении отрицательного импульса транзисторы *T5* и *T4* запираются, а якорь реле отпускается и изменяет направление вращения двигателя.

Пока в точку *MP3* поступает отрицательный импульс (или импульс отсутствует) транзисторы *T6* и *T5* заперты, а транзистор *T4* открыт, следовательно, якорь реле притянут. Якорь отпускается при приходе в точку *MP4* даже очень короткого импульса, поэтому полярность подаваемого на двигатель напряжения изменяется. Особенно важно то, что реверс двигателя осуществляется при отсутствии в нем тока. Во-первых, это предотвращает сильное искрение, которое может возникать при переключении и создавать помехи аппаратуре, во-вторых,

разгружает контакты реле, так как переключение происходит при снятии нагрузки.

Чтобы переключение транзисторов *T5* и *T4* могло производиться под воздействием приходящих в точку *MP4* импульсов даже минимальной длительности, к базе транзистора *T5* подключена фильтрующая цепочка *C4, R15, C5*. Диод *D2* предназначен лишь для осуществления короткого замыкания тока, индуктируемого при переключении полярности, т. е. для защиты транзистора *T4*.

При сборке регулятора хода необходимо учитывать следующее. В качестве транзистора оконечного каскада *T10* может быть использован любой мощный транзистор, имеющий ток коллектора не менее 10 А и напряжение коллектора не менее 25 В. Кремниевый транзистор *T9* должен быть рассчитан на ток коллектора 0,8 А, достаточный для управления работой транзистора *T10*. Остальные транзисторы — универсальные, также кремниевые.

При сборке регулятора хода все схемные элементы, кроме транзистора оконечного каскада *T10*, размещают на печатной плате. Реле размещают на плате в горизонтальном положении для уменьшения габарита регулятора по высоте. Здесь пригодны реле, номинальное напряжение которых составляет 4—6 В. Контакты, согласно техническому паспорту, рассчитаны на нагрузку не менее 20 А. Медные многожильные провода подвода питания к двигателю должны иметь сечение не менее 2,5 мм^2, чтобы падение напряжения на них было незначительным. Разъемы должны быть плоскими.

Для предотвращения коротких замыканий подводящие напряжение провода всегда припаивают к гнездам, а места пайки защищают отрезками лакированной трубки.

У судомоделей на винт иногда наматываются водоросли, и двигатель при этом блокируется. Если аккумулятор рассчитан на большую нагрузку, то двигатель или транзистор оконечного каскада *T10* могут оказаться термически перегруженными. Для предотвращения этого в цепь питания двигателя включают предохранитель 10А.

Если принять, что при полной нагрузке падение напряжения на транзисторе *T10* составляет 1 В, то при токе двигателя 10 А в тепло преобразуется мощность $P_V = 1\text{ В} \cdot 10\text{ А} = 10\text{ Вт}$. Сопоставив эту мощность с мощностью небольшого паяльника, составляющую около 20 Вт, можно понять, насколько важно охлаждение транзистора.

Для улучшения охлаждения транзистор *T10* крепят непосредственно на крышке корпуса регулятора хода, изготовленной из алюминиевого листа. Крышка должна иметь бо́льшую площадь. Интенсивность охлаждения увеличивается, если поверхность крышки черного цвета и матирована.

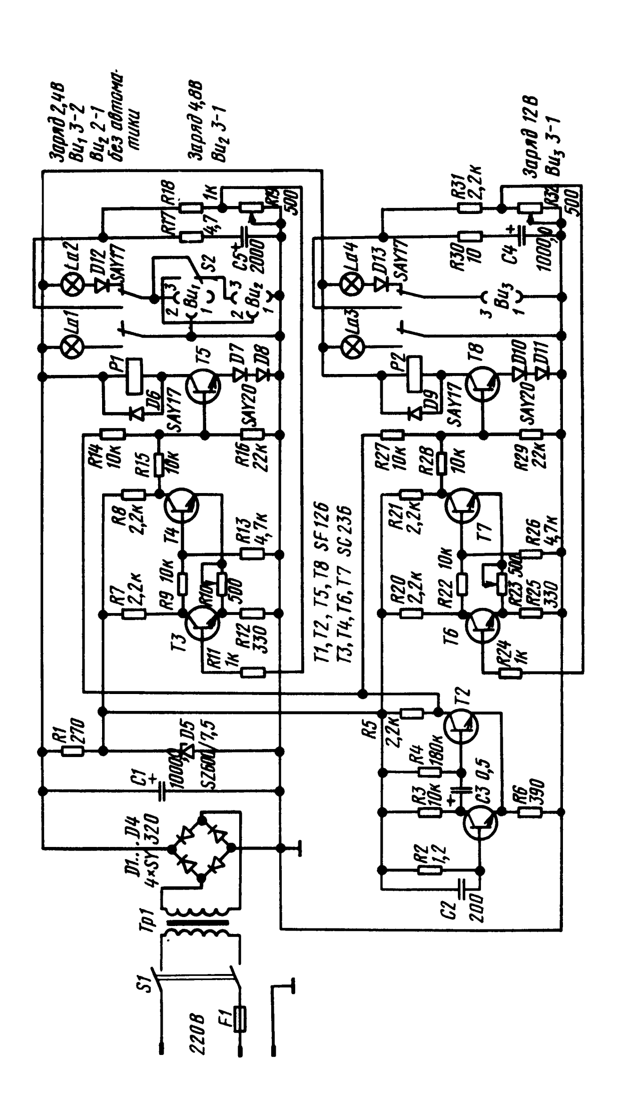


Рис. 300
Автоматическое зарядное устройство *Start al* (аппаратура *Start dp*)

Так как коллектор транзистора *T10* контактирует с крышкой, необходимо исключить ее контакт с другими находящимися под напряжением элементами и проводниками. К повреждению регулятора хода может привести неправильное включение аккумулятора.

Настройка регулятора хода очень проста. С помощью подстроечного резистора устанавливают длительность опорного импульса так, чтобы нейтральное положение регулятора соответствовало нейтральному положению ручки управления на передатчике. С помощью подстроечного резистора *R22*

согласуют величину мертвой зоны с величиной растяжения импульсов, чтобы при полном отклонении ручки на двигатель подавалось полное (за вычетом падения напряжения на транзисторе *T10*) напряжение аккумулятора (это можно проверить, подключив осциллограф к точке *MP6*), а при среднем положении ручки управления ток двигателя был нулевым (его следует замерить).

При установке регулятора хода на модели нельзя забывать о значении достаточного охлаждения. Доступ свежего воздуха к нему должен быть беспрепятственным. Еще лучше регулятор хода расположить в набегающем потоке воздуха. Совершенно недопустимо заворачивать его в губчатую резину. Он может быть установлен на демпфирующих опорах (на резиновых прокладках), но его стенки при этом должны быть свободными.

Проводники между регулятором хода, двигателем и аккумулятором должны иметь по возможности большое сечение и очень малую длину. Соединительные провода на регуляторе хода имеют длину 10 см, длину остальных проводников определяют по месту при установке регулятора на модели.

Так как цифровая аппаратура довольно чувствительна к импульсным помехам, двигатель должен быть оснащен устройством подавления помех.

8.1.10. Автоматическое зарядное устройство *Start al*

Устройство (рис. 300) разработано для аппаратуры *Start dp*. Но его можно применять и для другой аппаратуры, питание приемника которой осуществляется от никелево-кадмиевых аккумуляторов 4,8 В/45 мА · ч, а передатчика — от никелево-кадмиевых аккумуляторов 12 В/45 мА · ч. Схема устройства в основном аналогична показанной на рис. 204.

Аккумуляторы заряжаются через балластные сопротивления (лампы *La2* и *La4*), одновременно предназначенные и для контроля. Состояние заряда аккумуляторов проверяют через каждые 25 с под нагрузкой, роль которой играют конденсаторы *C4* и *C5*. Если аккумулятор передатчика достиг предельного значения напряжения в конце заряда, то триггер Шмитта (на транзисторах *T6* и *T7*) опрокидывается и якорь реле *2* остается притянутым. Аккумулятор до тех пор остается в состоянии проверки, пока через резисторы *R31*, *R32* не разрядится до такой степени, когда триггер Шмитта включится снова и с помощью транзистора *T8* приведет к отпусканию якоря реле.

Последовательность проверки (в течение примерно 0,1 с) и заряда (примерно 25 с) задается генератором опорных импульсов (на транзисторах *T1* и *T2*), включенным как автоколебательный мультивибратор. Генератор управляет работой одновременно обоих

плеч, осуществляющих проверку заряда аккумуляторов приемника и передатчика. Если триггер Шмитта подает сигнал на транзистор *T5* (или *T8*), то этот транзистор уже не может управляться сигналами генератора опорных импульсов. Чтобы выдержать условия заряда, напряжение питания генератора опорных импульсов и плеч проверки (триггер Шмитта) стабилизировано стабилитроном *D5*. Об окончании заряда аккумулятора сигнализирует лампа *La1* или *La2*.

На выходе 4,8 В можно неавтоматически заряжать аккумуляторы, имеющие напряжение на зажимах 1,2—6 В.

8.1.11. Сервопереключатель полярности

При необходимости изменить направление вращения сервомеханизма даже на короткое время моделисты нередко меняют схему сервоэлектроники или приемника, что нецелесообразно. Существуют более простые решения, например, подключение канальных потенциометров с помощью штекерных разъемов, позволяющее располагать ручки управления в любом порядке, а также изменять направление вращения сервомеханизмов.

Другим простым решением является подключение сервопереключателя полярности. При необходимости сервопереключатель вводится между выходом приемника и сервомеханизмами в виде удлинительного кабеля. В принципе речь идет о преобразовании (при принятой длительности канальных импульсов, равной 1,5±0,5 мс) импульсов длительностью 1 мс в импульсы длительностью 2 мс и наоборот. Этого достигают, формируя разностный импульс сравнением канального импульса с опорным, имеющим фиксированную длительность (3 мс), которая позволяет получать все промежуточные значения длительности, не изменяя среднего положения сервомеханизма.

Таким образом, при приходе канального импульса длительностью 1 мс в точку *E* (рис. 301, *а*) на выходе сервопереключателя полярности (в точке *A*) получают после сравнения канальный импульс длительностью 3 мс — 1 мс = 2 мс, при длительности канального импульса на входе 1,5 мс: 3 мс — 1,5 мс = 1,5 мс, при длительности 2 мс: 3 мс — 2 мс = = 1 мс.

С помощью интегральной схемы на дополняющих МОП-структурах эту задачу можно решить просто и экономично. Ячейки *G1* и *G2* образуют генератор опорных импульсов. Время его опрокидывания, определяемое выражением $0{,}7 \cdot R1 \cdot C2$, равно 3 мс. Ячейка *G3* преобразует опорный импульс в отрицательный, а ячейка *G4* формирует из канального и опорного импульсов разностный импульс (рис. 301, *б*). Соответствующим подбором номиналов резистора *R1* и конденсатора *C2* генератор опорных импульсов можно настроить на другую длительность импульсов. При этом

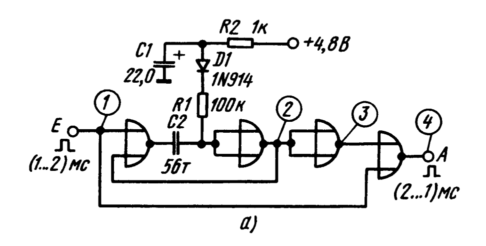
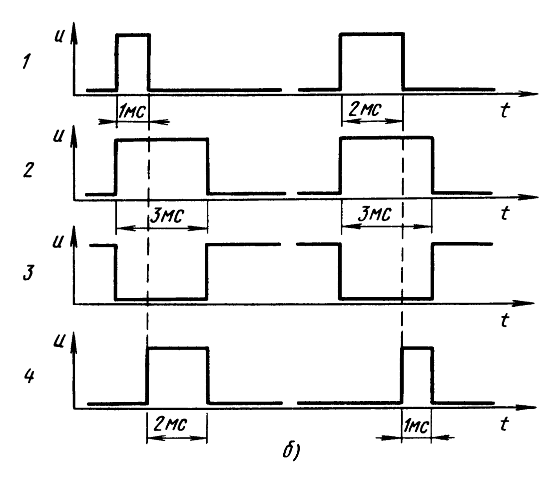


Рис. 301
Сервопереключатель полярности: *а* — принципиальная схема Интегральная схема — типа *CD 4001 AE*; *б* — импульсные диаграммы. Точка *1* — канальные импульсы, точка *2* — опорные импульсы, точка *3* — преобразованные опорные импульсы, точка *4* — разностные импульсы



опорный импульс должен быть в два раза продолжительнее канального импульса, при котором сервомеханизм занимает среднее положение.

8.1.12. Дополнительные каналы

В некоторых случаях, особенно при воспроизведении большого числа команд на судомоделях, возникает необходимость увеличить число имеющихся каналов. Цифровая техника позволяет сделать это относительно просто.

При стандартном схемном решении аппаратуры дистанционного управления моделями для одновременной передачи нескольких команд используется метод временно́го разделения каналов (см. рис. 7). При этом несколько канальных импульсов объединяются передатчиком в одну последовательность импульсов (рис. 302, *а*).

Каждый канальный импульс повторяется через каждые 20 мс. Исполнительный механизм на модели каждые 20 мс оценивает канальный импульс (равный 1,5±0,5 мс), а пауза 20 мс перекрывается соответствующим интегрирующим звеном. Такое распределение времени достаточно, чтобы без запаздывания воспроизводить даже быстрые перекладки ру-

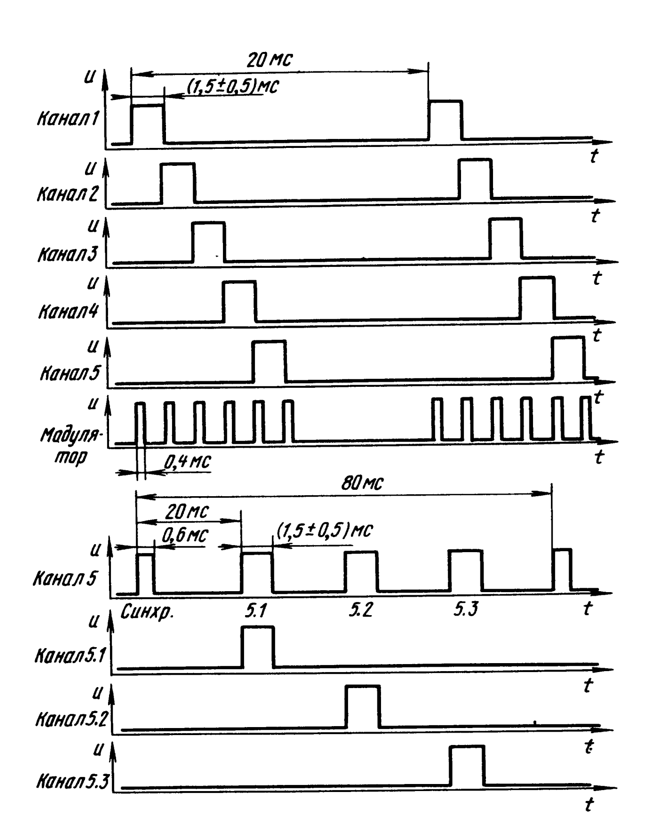


Рис. 302
Импульсные диаграммы дополнительных каналов

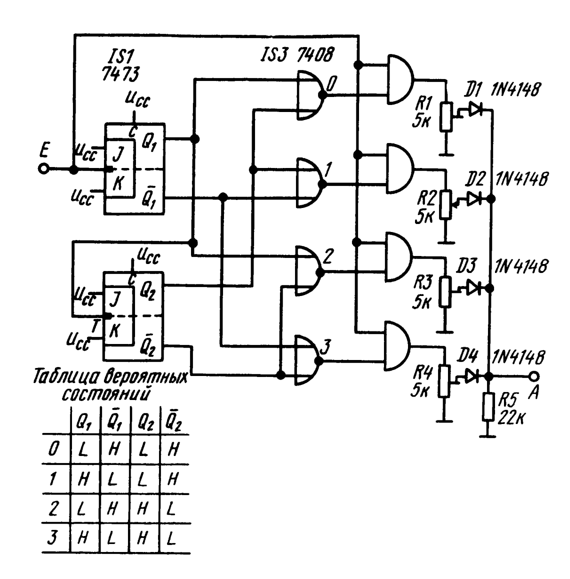
ля (перекладка исполнительного элемента на сервомеханизме на 12 мм за 0,3 с), так как время срабатывания и перекладки превышает время реакции человека.

Если необходимы дополнительные каналы, в последовательность канальных импульсов можно ввести еще два или три таких же импульса. Но для этого требуется довольно трудоемкая переделка схемы аппаратуры (узлов синхронизации и интегрирования паузы между импульсами). Экономичнее и проще использовать приставки к передатчику и приемнику.

При применении приставок последний канальный импульс используют для временно́го разделения дополнительных каналов, для чего в уже имеющееся временно́е разделение каналов вводят второе разделение дополнительных каналов.

Х. Б. Штуурман в журнале *Hobbi bulletin* (Нидерланды, 1977, № 2) описал приставки для трех дополнительных каналов. В блоке уплотнения (приставка к передатчику) использован канальный импульс из последовательности импульсов.

Пусть это будет пятый импульс. Блок уплотнения работает следующим образом. Пер-



	Q_1	$\bar{Q}_1$	Q_2	$\bar{Q}_2$
0	L	H	L	H
1	H	L	L	H
2	L	H	H	L
3	H	L	H	L

Рис. 303
Блок уплотнения для трех дополнительных каналов. Диоды *D1—D4*— типа *1N 4148*

вый импульс имеет постоянную длительность 0,6 мс и предназначен для синхронизации блока уплотнения в передатчике с блоком разуплотнения на выходе приемника (рис. 302). Второй импульс (1,5±0,5 мс) несет информацию для первого, третий импульс — для второго и четвертый — для третьего дополнительного канала. Через 80 мс приходит следующий синхронизирующий импульс для блока разуплотнения. Следовательно, импульсы дополнительных каналов 5.1, 5.2 и 5.3 повторяются через каждые 80 мс. Если к блоку разуплотнения подключить еще каскады переключения, то вместо передачи одной пропорциональной команды можно передавать шесть дискретных команд (три из них одновременно).

Схема блока уплотения представлена на рис. 303. Интегральные схемы *IS1* и *IS2* образуют регистр сдвига, через ячейки интегральной схемы *IS3* подключающий канальные потенциометры *R1—R4* к импульсному блоку передатчика вместо потенциометра канала *5*. При этом регистр сдвига запускается канальными импульсами, т. е. через каждый четвертый импульс он возвращается в исходное состояние, так как интегральная схема *IS1* работает в качестве делителя 1 : 4.

С помощью подстроечного резистора *R2* длительность синхронизирующего импульса устанавливают равной 0,6 мс. Она всегда должна быть больше длительности модулирующего импульса (примерно 0,4 мс) и меньше длительности опорного импульса (0,8 мс) блока разуплотнения.

Блок разуплотнения (рис. 304) подключают к выходу канала *5* приемника. Чтобы рабочий ток блока оставался ма-

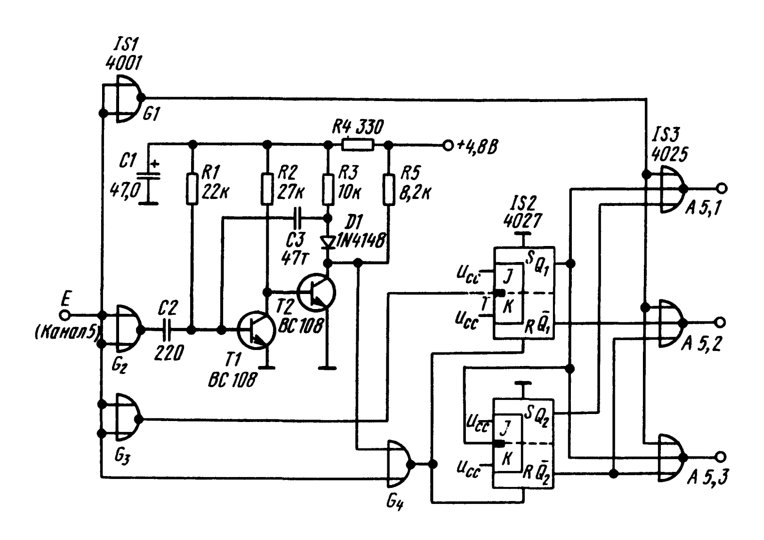


Рис. 304
Блок разуплотнения для трех дополнительных каналов

лым, блок собран с использованием интегральной схемы на дополняющих МОП-структурах. Синхронизирующий импульс запускает генератор опорных импульсов, представляющий собой моностабильный генератор, собранный на транзисторах *T1* и *T2* и настроенный на длительность этих импульсов (0,8 мс). Приходящие в точку *E* канальные импульсы, длительность которых больше 0,8 мс, поступают на вход *T* делителя 1 : 4 (интегральная схема *IS2*), а канальные импульсы длительностью меньше 0,8 мс (длительность синхронизирующего импульса равна 0,6 мс) через ячейку *G4* подаются на входы возврата *R* делителя и возвращают делитель в исходное состояние (синхронизируют его).

Делитель управляется канальными импульсами, проходящими через ячейку *G3*. В результате сопряжения выходов делителя с интегральной схемой *C3* канальный импульс *5.1* появляется на выходе *A5.1*, канальный импульс *5.2* — на выходе *A5.2* и канальный импульс *5.3* — на выходе *A5.3*.

8.1.13. Электронный смеситель

Электронный смеситель представляет собой приставку, включаемую между приемником и исполнительными механизмами (сервомеханизмами). Он позволяет упростить решение некоторых специальных задач управления моделью и применяется для управления сразу несколькими движениями, например V-образным хвостовым оперением, элеронами

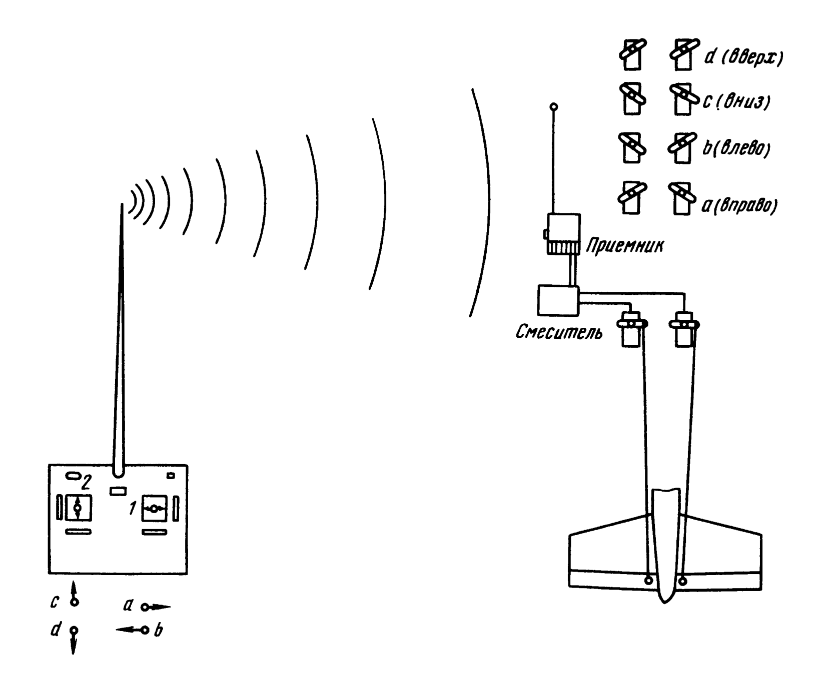


Рис. 305
Работа V-образного хвостового оперения

на моделях самолетов с треугольным крылом и т. д.

Для управления моделью с V-образным хвостовым оперением (рис. 305) относительно ее поперечной оси («вверх-вниз») необходимо отклонять оба руля в одну сторону, для управления относительно вертикальной оси («вправо-влево») — в противоположные стороны. Обычная аппаратура дистанционного управления позволяет управлять работой сервомеханизмов лишь независимо друг от друга. Требуемое для V-образного хвостового оперения смешанное управление рулями производится с помощью механических устройств, которые требуют много места и вносят дополнительные люфты в рулевое устройство.

Этих недостатков лишен электронный смеситель. Он включается между выходами приемника и обоими сервомеханизмами, управляющими движениями модели по высоте и по курсу, и электронным способом производит смешивание обеих команд. Другое преимущество такого смесителя состоит в том, что с его помощью можно раздельно устанавливать ход (путь перекладки) каждого сервомеханизма, а также плавно изменять степень смешения сигналов обоих выходов. Нелинейность отклонения составляет около 1%, т. е. лежит в области точности отработки команд высококачественной аппаратуры дистанционного управления.

Направление движения	Приемник Передатчик		Сервомеханизм		Смеситель				Электронный смеситель (выход)	
					Вход		Выход			
	Канал 1	Канал 2	A	B	1	2	A	B	A_M	B_M
a (вправо)					2,0	1,5	1,0	2,0	1,75	1,75
b (влево)					1,0	1,5	2,0	1,0	1,25	1,25
c (вниз)					1,5	2,0	2,0	2,0	1,75	1,25
d (вверх)					1,5	1,0	1,0	1,0	1,25	1,75

Рис. 306
Таблицы импульсов смесителя

На рис. 306 в табличной форме представлены импульсы, необходимые для управления V-образным хвостовым оперением согласно схеме (см. рис. 305). В соответствии с положениями ручек управления передатчика на обоих выходах приемника появляются импульсы, изображенные в столбцах «Канал 1» и «Канал 2» таблицы. Для получения требуемой работы сервомеханизмов *A* и *B* на них должны быть поданы импульсы, изображенные в столбцах *A* и *B*. Отсюда определяют соответствующие длительности импульсов, указанные в следующих четырех столбцах.

Требуемые передаточные характеристики смесителя можно описать двумя уравнениями:

$$t_A = 0{,}5 \cdot (t_1 + t_2), \qquad (85)$$

$$t_B = 0{,}5 \cdot (t_1 - t_2) + 1{,}5 \text{ мс}, \qquad (86)$$

где t_A и t_B — длительности импульсов на выходах смесителя *A* и *B*:

t_1 и t_2 — длительности импульсов на его входах *1* и *2*. После преобразования уравнения (86) получают:

$$t_B = 0{,}5 \cdot [t_1 + (3 \text{ мс} - t_2)]. \qquad (87)$$

Длительности выходных импульсов, рассчитанные по уравнениям (85) и (87) для соответствующих длительностей входных импульсов, сведены в столбцы A_M и B_M таблицы. Переходные характеристики, соответствующие данным столбцов *A* и *B*, отвечают значениям, указанным в столбцах A_M и B_M. Отклонение пределов изменения длительности импульсов на выходах *A* и *B*, составляющих ±0,25 мс, от пределов изменения длительности канальных импульсов, составляющих ±0,5 мс, может быть устранено за счет растяжения импульсов. Средняя длительность импульсов остается равной 1,5 мс.

Замену отклонения рулей в одну сторону (при управлении модели по высоте) отклонением их в разные стороны (при управлении по курсу) можно

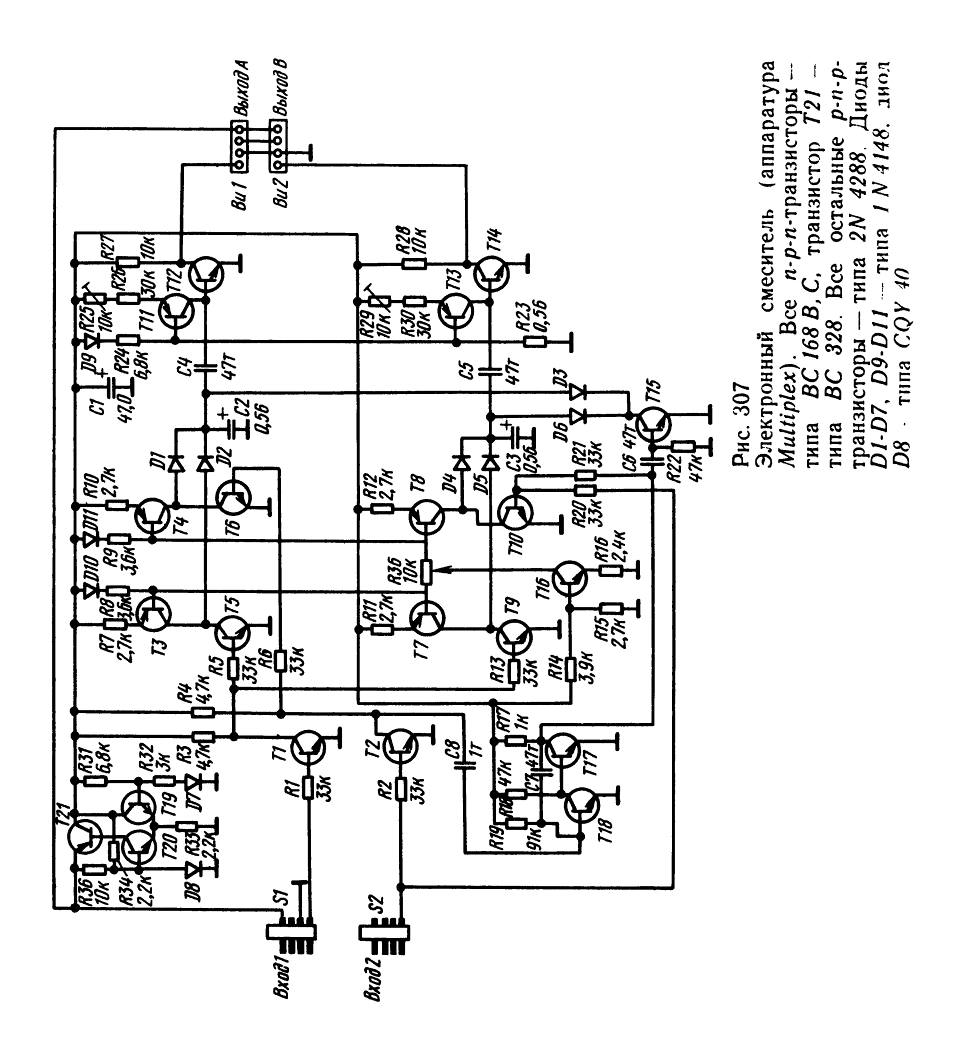


Рис. 307
Электронный смеситель (аппаратура *Multiplex*). Все *n-p-n*-транзисторы — типа *BC 168 B, C*, транзистор *T21* — типа *BC 328*. Все остальные *p-n-p*-транзисторы — типа *2N 4288*. Диоды *D1-D7*, *D9-D11* — типа *1N 4148*, диод *D8* — типа *CQY 40*

скорректировать заменой входов *1* и *2*. Принцип работы смесителя пояснен на примерах.

Электронный смеситель аппаратуры *Multiplex* собран на транзисторах (рис. 307). Так как канальные импульсы *1* и *2* разнесены по времени, они смешиваются на *RC*-цепочках, играющих роль кратковременных запоминающих устройств. Поступающий на вход *1* канальный импульс проходит через каскады усиления, собранные на транзисторах *T1* и *T5*, и через диод *D2* подается в точку суммирования (на конденсаторе *C2*). Канальный импульс, поступающий на вход *2*, достигает точки суммирования, проходя через транзисторы *T2* и *T6* и диод *D1*.

Из суммы обоих канальных импульсов на конденсаторе *C2*

образуется в соответствии с уравнением (85) импульс смешения *A*. Этот импульс поступает через конденсатор *C4* на триггерный каскад, собранный на транзисторе *T12*, и опрокидывает его. Этот каскад соответствует канальному триггерному каскаду в импульсном блоке передатчика, только здесь ток базы транзистора *T12* может быть точно отрегулирован источником тока неизменной величины (диод *D9*, транзистор *T11*). С помощью триггерного каскада пределы изменения длительности канальных импульсов, равные в данном примере ±0,25 мс, растягиваются до требуемой величины ±0,5 мс, поэтому на выходе *A* появляется импульс смешения *A*.

Точную настройку на необходимую величину (в зависимости от аппаратуры) производят с помощью подстроечного резистора *R25*, а для выхода *B* — с помощью подстроечного резистора *R29*. Канальные импульсы *1* и *2* для выхода *B* смешиваются, проходя через диоды *D4* и *D5*, на конденсаторе *C3*. Разностный импульс, длительность которого определяется выражением 3 мс$-t_2$ в соответствии с уравнением (87), формируется на базе транзистора *T10* из опорного импульса *3* генератора опорных импульсов (на транзисторах *T17* и *T18*) и канального импульса *2*. Для растяжения импульса смешивания *B* на транзисторах *T13*, *T14*, как и для выхода *A*, собран триггерный каскад.

Конденсаторы *C2* и *C5* положительно заряжаются суммарным и опорным импульсами. Играя роль кратковременных запоминающих устройств, они обеспечивают получение требуемых средних длительностей импульсов. Но чтобы запоминающие устройства были готовыми к приему следующих импульсов, которые поступают через 20 мс, их память должна быть свободна, т. е. конденсаторы *C2* и *C5* должны быть разряжены. Поэтому в паузах между импульсами после опрокидывания триггерных каскадов на транзисторах *T11*, *T12* и *T13*, *T14* конденсаторы разряжаются собранным на транзисторе *T15* триггерным каскадом через диоды *D3* и *D6*. Триггерный каскад на транзисторе *T15* управляется генератором опорных импульсов. Степень смешения выходов *A* и *B* можно изменять с помощью подстроечного резистора *R36*. Комбинация транзисторов *T19—T21* и диодов *D7*, *D8* предназначена для стабилизации напряжения питания смесителя.

Схему смесителя упрощает применение интегральных схем. В качестве примера можно рассмотреть смеситель, разработанный П. Христи (рис. 308). На входе смесителя установлена интегральная схема *IS1* (содержащая четыре ячейки *НЕ-И*), предназначенная для усиления импульсов и согласования каскадов. Смешение импульсов производится на конденсаторах *C5* и *C6*. Суммарный импульс, определяемый уравнением (85) и

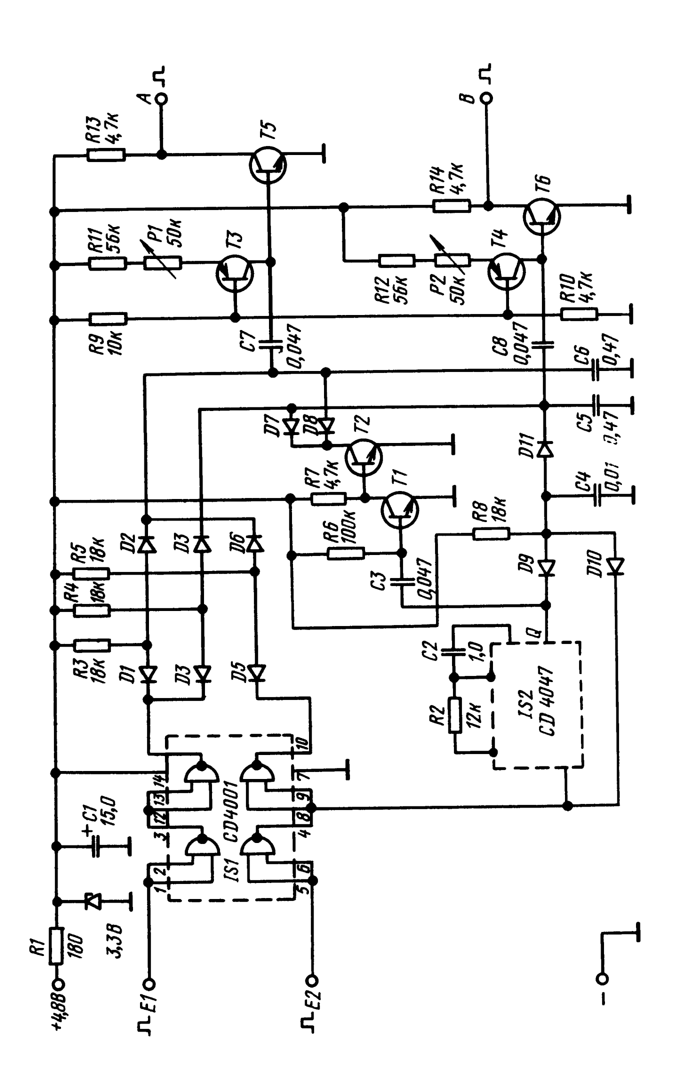


Рис. 308

Электронный смеситель, разработанный П. Христи. Диоды *D1-D11* — типа *1N 4148*, *p-n-p*-транзисторы — типа *BC 213*, *n-p-n*-транзисторы — типа *MPS 2924*

формируемый на конденсаторе *C6*, опрокидывает триггерный каскад, собранный на транзисторах *T3* и *T5*, и появляется на выходе *A*. Разностный импульс (3 мс$-t_2$) формируется на конденсаторе *C4* из опорного импульса, поступающего с интегральной схемы *IS2*, и канального импульса *2*. Импульс смешения канального импульса *1* и разностного импульса образуется на конденсаторе *C5* и опрокидывает триггерный каскад, собранный на транзисторах *T4* и *T6*.

Триггерный каскад, собранный на транзисторах *T1* и *T2*, разряжает через диоды *D7*, *D8* конденсаторы *C5* и *C6* в

паузах между импульсами. Работой этого триггерного каскада управляет генератор опорных импульсов (интегральная схема *IS2*).

Степень смешения определяется сопротивлениями резисторов *R3, R4, R5* и *R8*. При сопротивлениях, указанных на схеме, степень смешения составляет 50 : 50. Расчет других степеней смешения можно пояснить на примере получения степени смешения 70 : 30. Заряд конденсатора *C6*, определяющий выходной импульс *A*, зависит от сопротивлений резисторов *R3* и *R5*. При длительности канального импульса, равной $1,5 \pm 0,5$ мс, принято: $R3 + R5 \approx 36$ кОм. При степени смешения 70 : 30:

$$R3 = \frac{(100-70)\%}{100\%} \cdot 36\ \text{кОм} \approx$$
$$\approx 10\ \text{кОм, принято } 10\ \text{кОм;}$$

$$R5 = \frac{(100-30)\%}{100\%} \cdot 36\ \text{кОм} \approx$$
$$\approx 25\ \text{кОм, принято } 27\ \text{кОм;}$$

и далее:

$$R3 = R4 = 10\ \text{кОм},\ R5 = R8 =$$
$$= 27\ \text{кОм}.$$

Номиналы резисторов для других степеней смешения рассчитывают тем же способом.

8.1.14. Приставки для передачи дискретных команд *Multinaut*

При управлении многофункциональными моделями, особенно судомоделями, часто возникает задача обеспечить независимое выполнение нескольких простых переключений насоса, лебедки, буксирного крюка, различных заслонок, оптических и акустических сигнальных устройств, т. е. не пропорциональное управление этими устройствами, а управление типа «включено-выключено». Для решения таких задач к аппаратуре *Multiplex* разработаны приставки *Multinaut*, позволяющие один пропорциональный канал заменить четырьмя дискретными. Появляется возможность с помощью одного передатчика одновременно и независимо друг от друга передавать пять пропорциональных и дополнительно $2 \times 4 = 8$ дискретных команд.

Были разработаны приставки к передатчику для замены одного пропорционального канала четырьмя дискретными и двух пропорциональных каналов четырьмя дискретными. В усовершенствованном варианте передатчика *Mini 2* (см. рис. 42) появляется возможность получить еще один канал. Передатчик *Mini 3* можно по выбору использовать или с третьим пропорциональным каналом (без установки сервомеханизма в нейтральное положение), или с приставкой к передатчику *Multinaut 1/4*. Приставка на восемь дискретных каналов *Multinaut 2/8* предназначена для передатчика *Royal FM 5+2* (см. рис. 278). Этот передатчик может быть оборудован по выбору или подключаемым с помощью штекерного разъема модулем,

рассчитанным на два пропорциональных канала, или приставкой *Multinaut 2/8*, рассчитанной на восемь дискретных каналов. Вместо сервомеханизма к соответствующему канальному выходу к приемнику подключают приставку *Multinaut*.

Приставка к приемнику *Multinaut* имеет четыре независимых друг от друга транзисторных выхода. Чтобы обеспечить при этом возможность одновременной передачи команд, использован метод временно́го разделения каналов. Это означает, что, например, по каналу *3* последовательно передается информация для дискретных каналов *1*—*4*. Следовательно, информация для каждого канала передается не через каждые 20 мс, а только через каждые 80 мс. Паузы между импульсами перекрываются соответствующими интегрирующими цепочками в приемнике. Вызванная этим несколько замедленная передача команд практически не играет никакой роли.

Приставка *Multinaut 1/4* (рис. 309) к передатчику *Mini 3* содержит преобразователь пилообразного напряжения и входное запоминающее устройство, управляемое тактовыми импульсами. Импульсы канала *2* преобразуются транзистором *T1* в отрицательные и через конденсатор *C3* управляют работой интегральной схемы *IS3* и триггерного каскада (собранного на транзисторе *T2*), который можно сравнить с триггерным каскадом передатчика. Изменением емкости конденсатора *C2* и сопротивлений резисторов *R5*—*R8* можно отрегулировать время четырех дискретных канальных импульсов, различных по длительности, которое для дискретного канала *1* выбрано здесь равным 1,9 мс, для канала *2*—1,7 мс, для канала *3* — 1,5 мс и для канала *4* — 1,3 мс.

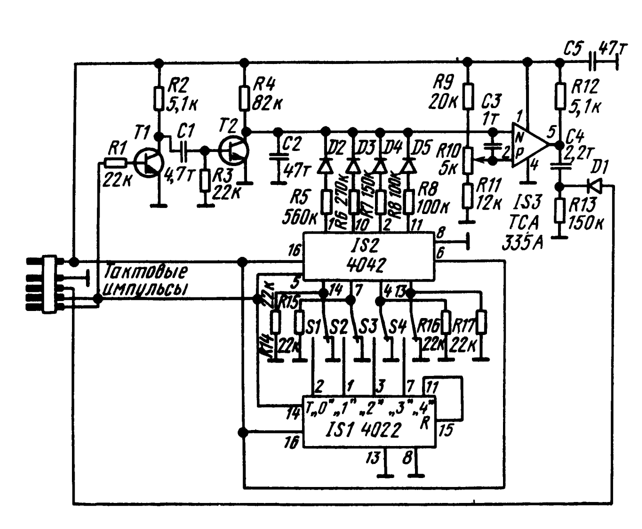


Рис. 309
Приставка к передатчику *Multinaut 1/4* (аппаратура *Multiplex*). Транзисторы *T1*, *T2* — типа *BC 168 B*, *C*. Диоды *D1-D5* — типа *1N 4148*

Интегральная схема *IS2*, включенная в качестве приемного регистра, по мере прихода канальных импульсов последовательно подключает выходы *Q0—Q3* ко входам *D0 — D3*. При указанном положении переключателей *S1—S4* резисторы *R14—R17* отключены и длительность четырех дискретных канальных импульсов определяется только разрядом конденсатора *C2* через резисторы *R5—R8*. Дискретные канальные импульсы появляются на выходе интегральной схемы *IS3* и дифференцируются цепочкой *C4*, *R13*.

Диод *D1* относится к диодной решетке, формирующей последовательность импульсов в передатчике из отрицательных остроконечных импульсов. Если положение переключателей *S1—S4* изменить, то выходы *Q0—Q3* интегральной схемы *IS1* будут подключены ко входам *D0—D3* интегральной схемы *IS2*. Интегральная схема *IS1* (синхронный восьмеричный счетчик) включена как кольцевой счетчик, также управляемый канальными импульсами (канала *2*).

После того как тактовые импульсы последовательно переключат выходы *Q0—Q3* на потенциал *H*, последний импульс возвращает регистр в исходное состояние (перемычка между выводами *11* и *15*). Состояние *H* включенных таким образом выходов *Q0—Q3* интегральной схемы *IS2*, а также подключение резисторов *R14—R17* уменьшают длительность соответствующих дискретных канальных импульсов так, что на соответствующем выходе приставки к приемнику сигнал отсутствует. Выходы интегральной схемы *IS1* сдвигаются слева направо в те же такты, в которые происходит сдвиг в приемном регистре *IS2*.

Оглавление

Поправки к русскому изданию

Рис.	Напечатано	Следует читать
35	*Д6 SZX* 1818,2	*Д6 SZX* 18/18,2
38	*Д10* 18/82	*Д10* 18/8,2
62	*R108* 82 к, *R127* 6,8 к, *R141* 4,7 В	*R112* 10 к, *R128* 2,2 к, *R141* 4,7 к
64	Обозначение пропущено	*R30* 2,7 к
68	*R19* 820÷1,0	*R19* 820 к÷1,0
73	*R106* 22 к	*R106* 2,2 к
76	Поменять местами обозначения двух нижних штырьков разъема	
84	*R14*	*R14* 1 к
109	Обозначение пропущено	*C2* 2,7
135	*C9* 10 т	*R5* 2,2 к
136	*R101* 8,2	*R101* 75 к
143	Обозначение пропущено	*R3* 5,6 к
156	— »	*R3* 1 к
164	*C4*	*C4* 2,2
166	Обозначение пропущено	*R21* 3,9 к
204	Диоды *Д1, Д9* должны быть подключены с изменением их полярности к базам *T1, T8*	
262	Точку соединения конденсатора 500 и резистора 12 к подключить к базе *T29*, резистор 1 к в цепи коллектора *T28* — к шине −2,4	
266	Обозначение пропущено	*R9* 1 к
278	— » -	*R43* 2,5 к
279	— » -	*R11* 220 к
283	*R24* 100	*R24* 100 к
285	*C4* 2,2	*R4* 4,7 к
311	*R5* 82 к	*R5* 8,2 к

1 р. 40 к.